Liquides à pression moyenne

Stations de pompage

par **Jacques LAUNAY**
Ingénieur de l'École Centrale de Paris
Ancien Directeur de l'Usine Worthington SA

et **Gabriel PERROTIN**
Ingénieur à la société Pompes Guinard, Groupe KSB

1.	**Éléments constitutifs d'une station de pompage**	B 4 340 - 2
2.	**Détermination des données de base**	— 10
3.	**Applications particulières**	— 16
4.	**Spécifications**	— 32
5.	**Contrôles**	— 33
6.	**Exploitation**	— 34
Pour en savoir plus		Doc. B 4 340

Le but de cet article est de concevoir et réaliser une station de pompage à partir de données de base. Nous indiquerons donc quels sont les éléments constitutifs d'une telle station ainsi que les données de base qui doivent être rassemblées et examinées avant de choisir ces éléments. En dehors d'une conception générale, nous examinerons également quelques cas types parmi les plus fréquemment rencontrés. Tout cela doit permettre de poser correctement le problème, d'établir un cahier des charges ou, tout au moins, de le vérifier, de passer les commandes aux fournisseurs, de contrôler le matériel et d'exploiter la station de façon satisfaisante.

Il ne sera pas traité dans cet article du matériel incorporé dans un ensemble, tel que machine à laver, machine-outil, moteur thermique, etc. De même, certains éléments importants tels que les réseaux, les réservoirs, les prises d'eau, etc., ne seront pas abordés ; le lecteur se reportera pour cela aux articles spécialisés dans la collection ; cependant, dans le cas où ils peuvent influer sur la conception de la station de pompage, leur rôle sera rappelé.

Dans une station de pompage, les pompes constituent l'élément essentiel, sur lequel tout ou presque va se greffer. *Le premier choix est donc celui de la pompe : volumétrique ou centrifuge, unique ou multiple, etc. Parfois, des considérations extérieures au pompage interviennent. Par exemple, les appels de courant au démarrage peuvent inciter à fractionner la puissance totale en plusieurs unités. De même, l'emploi de matériel standard (pompes, moteurs, robinetterie, etc.), de grande diffusion, peut se révéler plus économique malgré une multiplication du nombre d'unités.*

L'évolution de la conception d'une station se fait dans le but de réduire :

— le volume de génie civil par l'emploi de pompes verticales ou monoblocs, de vannes papillon, de postes de transformation préfabriqués, par la réduction des secours installés, par une protection plus sommaire contre les intempéries ;

Toute reproduction sans autorisation du Centre français d'exploitation du droit de copie est strictement interdite.
© Techniques de l'Ingénieur, traité Génie mécanique

— le temps de montage sur site par l'emploi de tuyauteries préfabriquées, de pompes monoblocs, de sous-ensembles constituant l'essentiel de la station (stations de relevage préfabriquées, par exemple) ;

— les frais d'entretien et d'immobilisation par l'amélioration des isolants électriques, l'emploi de matériaux inoxydables, la standardisation des éléments, et les frais de personnel par l'automatisme.

Comme nous le verrons au paragraphe 1.14, le prix des pompes ne représente qu'un faible pourcentage du prix total des équipements électromécaniques de la station. En revanche, puisque tous les autres éléments sont liés au choix de la pompe, ce choix doit être fait non pas en fonction du prix d'achat de la pompe seule, mais en fonction du prix total de la station et de son coût d'exploitation.

On pourra donc être amené à comparer financièrement les coûts d'investissement et d'exploitation de deux ou trois solutions différentes. Bien entendu, ces coûts doivent tenir compte du prix du génie civil. Toutefois, cet aspect ne peut être traité dans cet article car il dépend de nombreux facteurs qui n'ont rien à voir avec le pompage proprement dit, tels que la nature du sol et des fondations, le fait que la station soit isolée ou incorporée dans un bâtiment, le climat, etc. Cependant, nous mentionnerons l'influence de certaines dispositions sur le coût du génie civil.

1. Éléments constitutifs d'une station de pompage

Il est évident que les éléments d'une station de pompage sont déterminés en fonction de la mission pour laquelle elle est étudiée et que la conception de la station est très variable suivant des paramètres tels que liquide véhiculé, site ou climat.

Il est toutefois intéressant de savoir que les principaux constructeurs ont standardisé certains éléments ou même certains ensembles pour lesquels les conditions d'installation dépendent peu du site et dont les caractéristiques de fonctionnement sont similaires (par exemple, les stations de relevage d'eaux usées individuelles ou collectives, les surpresseurs d'immeuble). Cette standardisation a surtout pour effet de réduire les temps de montage sur site et d'entretien.

Une station de pompage est constituée principalement par une ou plusieurs pompes, leur moteur d'entraînement, leur robinetterie, l'alimentation électrique, les dispositifs de nettoyage du liquide avant pompage, les tuyauteries internes à la station, l'ensemble des systèmes de commande et de contrôle et l'ensemble des moyens de maintenance.

Le paragraphe 1 passe en revue tous ces éléments en donnant un **ensemble de recommandations générales**. Toutefois, suivant la fonction de la station, de nombreuses solutions sont envisageables et leurs particularités seront traitées dans le paragraphe 3.

1.1 Pompes

Étant au cœur de l'installation, la pompe doit être définie avec le plus grand soin. Les pompes pouvant être utilisées sont très diverses mais, en pratique, elles sont **le plus souvent** de type **centrifuge** et nous ne parlons que d'elles dans ce paragraphe. Les pompes volumétriques (alternatives ou rotatives) seront décrites dans les applications correspondantes (§ 3) ou bien dans l'article spécialisé de ce traité.

On distingue les pompes horizontales, horizontales installées verticalement, verticales, immergées, submersibles ou à turbine hydraulique.

1.1.1 Pompes horizontales

Les pompes horizontales (à axe disposé horizontalement) sont généralement installées au niveau du sol mais peuvent également être installées en fosse sèche.

Elles doivent être au-dessus du niveau des plus hautes eaux sauf dans les cas où l'installation est faite dans un cuvelage étanche dont la réalisation est très onéreuse, ou bien dans ceux où la pompe est alimentée par un réservoir en charge.

Elles doivent être à moins de 7 m au-dessus du plan d'eau le plus bas ; toutefois, on rencontre dans des applications principalement domestiques certains artifices (hydroéjecteur, par exemple) permettant d'augmenter cette distance.

L'avantage des pompes horizontales est leur *facilité d'entretien*. En effet, tous les éléments sont démontables avec des moyens de manutention simples.

Dans de nombreuses pompes, il est possible de démonter la partie hydraulique sans toucher au moteur, donc sans nécessiter une nouvelle mise en ligne du groupe lors du remontage ; ce sont des pompes à plan de joint horizontal, ou bien à plan de joint vertical mais équipées d'un accouplement avec une pièce d'espacement permettant le démontage.

L'entraînement peut être fait, généralement par accouplement direct, entre la pompe et un moteur électrique ou thermique, une turbine hydraulique, à vapeur ou à gaz.

1.1.2 Pompes horizontales installées verticalement

Ces pompes requièrent une surface au sol plus réduite qu'en disposition horizontale. Elles sont souvent utilisées en fosse sèche mais parfois également au niveau du sol. Cette solution réduit le coût du génie civil, surtout en cas de cuvelage étanche.

L'entraînement direct est limité à l'emploi des moteurs électriques, parfois à celui des turbines à vapeur. Les moteurs peuvent être :

— soit directement posés sur les pompes par l'intermédiaire d'un support ; dans ce cas, seules les pompes à plan de joint horizontal peuvent être inspectées sans démontage du moteur ;

Toute reproduction sans autorisation du Centre français d'exploitation du droit de copie est strictement interdite.
© Techniques de l'Ingénieur, traité Génie mécanique

— soit placés sur un plancher supérieur avec entraînement par transmission à cardan ou à deux accouplements semi-élastiques ; dans ce cas, le démontage peut se faire après celui de la transmission.

1.1.3 Pompes verticales

Les pompes verticales (à axe disposé verticalement) sont utilisées lorsque le niveau de l'eau peut descendre à plus de 6 à 7 m sous la pompe (roue de 1er étage) ou encore lorsque leur emploi réduit les ouvrages de génie civil (pompage direct dans un réservoir, par exemple).

Ces pompes (figure 1) présentent la particularité de posséder au niveau du plan de pose une tête de commande comportant une butée qui supporte l'ensemble mobile constitué par le rotor et l'arbre de transmission. Cette butée peut d'ailleurs être celle du moteur d'entraînement si ce dernier est équipé d'un arbre creux. L'ensemble fixe (corps de pompe et tubes de remontée) est fixé au-dessous de la tête de commande.

Ce type de pompe est utilisable jusqu'à des profondeurs de 70 à 80 m avec des paliers lubrifiés par l'eau pompée (propre) et de 150 m et plus avec des paliers lubrifiés à l'huile ou à la graisse. Au-delà de 200 à 300 m, on utilise des pompes immergées ou à turbine hydraulique.

L'emploi de pompes « type forage » (§ 3.14), de faible diamètre (et avec un grand nombre d'étages) permet de réduire les frais de forage mais ce diamètre fixe aussi une plage de débits donc le diamètre du forage est à choisir suivant le débit. Éventuellement, le tubage du forage peut être utilisé comme tubulure de remontée.

1.1.4 Pompes immergées

Les pompes immergées sont conçues pour être installées dans des forages à grande profondeur (200 à 300 m et plus) sans utilisation d'arbre de transmission pour entraîner la pompe. Le moteur électrique, de conception spéciale, est prévu pour fonctionner dans l'eau, **rotor noyé** (figure 2) et peut comporter un système de compensation de pression évitant la mise sous pression de l'enveloppe du moteur par l'échauffement de cette eau résultant du fonctionnement du moteur ou de la température de l'eau du forage. Le diamètre de ces pompes est limité par celui du forage (mêmes remarques que ci-dessus).

Du fait de son fonctionnement dans l'eau, le moteur ne supporte pas les eaux chaudes ou agressives sauf avec des constructions spéciales.

Le contrôle de l'échauffement du moteur est assuré par des sondes thermiques pour les moyennes et grandes puissances. Le refroidissement du moteur est assuré par le passage de l'eau pompée autour de la chemise extérieure, et une vitesse minimale est à respecter pour éviter l'échauffement.

1.1.5 Pompes submersibles

Ce sont des groupes monoblocs où le moteur travaille « submergé », mais **sans eau à l'intérieur**, contrairement aux pompes immergées. Elles sont souvent utilisées pour le relevage des eaux chargées (§ 3.12) et également pour des applications à bord des navires ou comme groupes mobiles pour chantier de travaux publics (§ 3.15).

Elles comportent une protection électrique par sonde thermique et, sur les plus gros modèles, un détecteur d'humidité dans le moteur.

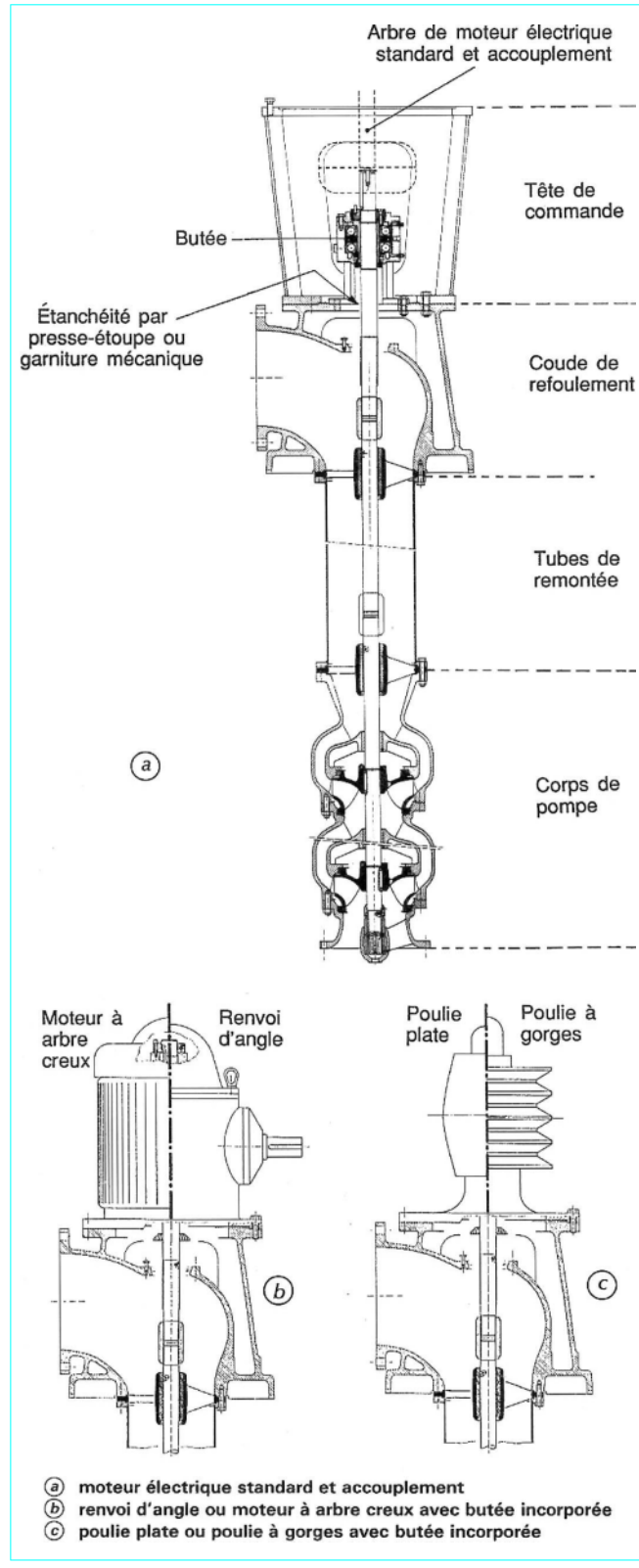


Figure 1 – Pompe verticale avec différentes têtes de commande
(d'après doc. Guinard – Groupe KSB)

Toute reproduction sans autorisation du Centre français d'exploitation du droit de copie est strictement interdite.
© Techniques de l'Ingénieur, traité Génie mécanique

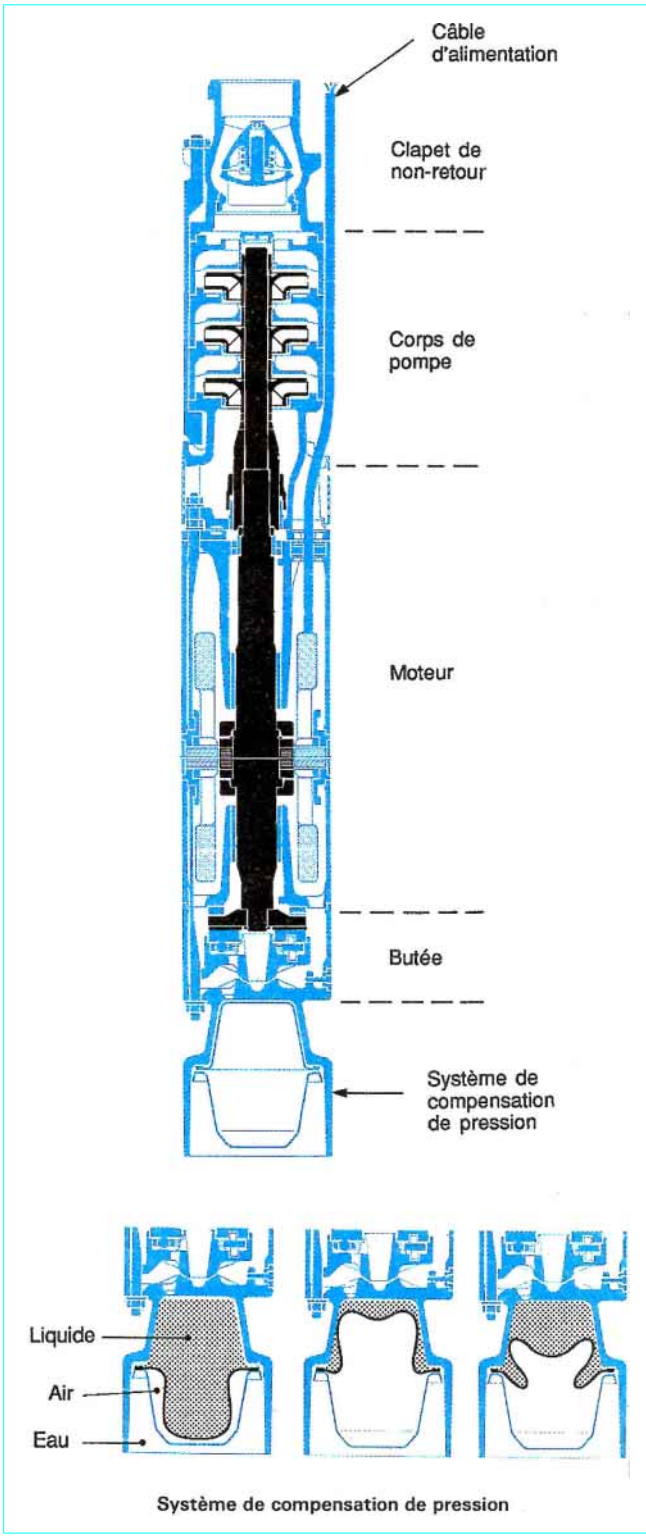


Figure 2 – Pompe immergée avec son système de compensation de pression (d'après doc. KSB)

1.1.6 Pompes à turbine hydraulique

Ce sont des pompes monoblocs où l'entraînement est assuré par une turbine hydraulique alimentée en eau propre par une pompe classique, haute pression, située en surface. Elles peuvent travailler à de grandes profondeurs (500 m), avec des eaux chaudes et très salines ; elles seront décrites dans le paragraphe 3.14.

1.1.7 Évolution des pompes et des matériaux

On a assisté à la disparition presque complète des pompes alternatives à vapeur et à la croissance du nombre des pompes centrifuges tant dans le domaine des faibles débits que dans celui des grandes hauteurs. Actuellement, la pompe est centrifuge à l'exception d'applications particulières : très petits débits, dosage, très hautes pressions, viscosités élevées sont les domaines des pompes volumétriques.

Parmi les pompes centrifuges, **la tendance est à l'emploi de pompes verticales et de pompes monoblocs ; signalons l'importance croissante des pompes immergées**. Enfin, l'accroissement des vitesses, parfois très supérieures à celles de synchronisme électrique, a amené une réduction du nombre d'étages et l'obtention de grandes hauteurs au prix de NPSH plus élevés (§ 1.4). Toutes ces évolutions concourent à la réduction des coûts de génie civil et de montage sur site.

Mécaniquement, les **garnitures mécaniques** ont supplanté les garnitures à tresse et les paliers courants sont à billes ou à rouleaux, cependant que, pour des vitesses élevées ou des graissages à l'eau, les paliers lisses en matériaux spéciaux se sont développés.

Les **matériaux** classiques de fonderie étaient la fonte et le bronze. Depuis longtemps, la fonte des socles est remplacée par de l'acier soudé. La fonderie reste cependant la solution pour les pièces répétitives de forme difficile. Pour des pièces à l'unité, la mécanosoudure est souvent la solution, même pour le bronze avec l'emploi du bronze d'aluminium, soudable, de bonne résistance mécanique et à la corrosion.

Les roues sont progressivement réalisées en matières plastiques, permettant d'obtenir plus de netteté des sections, des épaisseurs moindres, des surfaces plus lisses, mais leur emploi est limité aux pièces qui peuvent être démoulées.

Pour de petites pompes (pour des piscines, par exemple), la solution tout plastique est très au point tant qu'il n'y a pas de température ni de pression trop élevées. Il faut prendre garde à ne pas laisser ces pompes tourner « vanne fermée » en raison de l'échauffement.

Dans le domaine de la tenue à la température et à la corrosion, les aciers inoxydables se sont grandement répandus en raison d'un prix plus modéré que dans le passé.

Enfin, mentionnons le développement de la fonderie sous pression (plus précise), de la fonte ductile et des matériaux composites.

1.2 Moteurs et turbines

L'électrification étant généralisée dans la plupart des pays, le **moteur-électrique** à rotor en court-circuit est la solution presque générale. Les moteurs à rotor bobiné sont employés si le réseau électrique impose une réduction importante de l'appel de courant au démarrage ou parfois pour le démarrage de pompes volumétriques à couple de démarrage élevé. Ils sont également nécessaires pour l'emploi de certains variateurs de vitesse.

Les moteurs à courant continu ne sont utilisés qu'avec des variateurs de vitesse ou une alimentation par cellules solaires.

Les moteurs à bagues et collecteur ne sont généralement utilisés que pour de faibles puissances pour les applications domestiques.

Toute reproduction sans autorisation du Centre français d'exploitation du droit de copie est strictement interdite.
© Techniques de l'Ingénieur, traité Génie mécanique

Une évolution importante de ces moteurs électriques a été due à la normalisation européenne des carcasses et des classes de protection. Les moteurs horizontaux à flasque-bride se font jusque vers 40 kW ; mais les carcasses en alliage d'aluminium supportent mal les fuites de liquide en provenance de la pompe et il faut les revêtir d'une peinture époxy, par exemple, surtout sur les surfaces en contact avec des matériaux différents. L'évolution la plus importante est celle de la vitesse variable quelle que soit la puissance.

■ Les **moteurs thermiques** sont utilisés dans les cas où l'électricité n'est pas disponible ou bien pour des raisons de sécurité. Ce sont de plus en plus les moteurs Diesel qui entraînent les pompes, soit directement, soit indirectement par l'intermédiaire d'un groupe électrogène.

Bien que leur emploi reste limité aux groupes mobiles ou de secours en raison de leur prix, de leur poids, de leur encombrement, etc., l'élévation de leur vitesse est un élément favorable.

■ Les **turbines hydrauliques** sont utilisées lorsque des chutes d'eau sont disponibles et souvent pour de grandes puissances. Pour de petites ou moyennes puissances, on peut employer des pompes travaillant en turbine.

■ Les **turbines à vapeur** sont utilisées dans les industries où la vapeur est disponible et elles se sont développées grâce à un abaissement des prix. Elles procurent les avantages d'utiliser une énergie parfois bon marché, d'être un secours en cas de panne d'électricité, d'avoir une vitesse variable élevée, et d'être antidéflagrantes. La vapeur d'échappement peut servir pour du réchauffage. En pratique, elles sont utilisables seulement avec des pompes centrifuges (faible couple au démarrage, vitesse élevée). Les pompes alternatives à vapeur ont pratiquement disparu.

■ Les **moteurs hydrauliques** ont l'avantage d'être antidéflagrants et à vitesse variable. Il peuvent être utilisés dans des positions difficiles ou dangereuses.

1.3 Équipement électrique

Nota : le lecteur pourra se reporter utilement à la rubrique Réseaux électriques linéaires du traité Génie électrique.

C'est un poste très important tant par son coût que par la fiabilité qu'il doit offrir. L'appareillage doit assurer la protection électrique du personnel, celle du matériel, le démarrage et l'interconnection des groupes et des auxiliaires.

L'installation comporte :

— à partir de la ligne haute ou moyenne tension :
- une cellule d'arrivée,
- une cellule de protection et de coupure,
- un transformateur ;

— à partir de la ligne basse tension :
- les organes de livraison, de comptage, de protection et de coupure en cas de liaison directe à un réseau basse tension,
- l'armoire de commande (comportant aussi les protections mentionnées au paragraphe 1.7) ; elle doit avoir en façade un voyant de mise sous tension, les voltmètres et ampèremètres, les commutateurs de groupes ou de fonctionnement (manuel, automatique, arrêt), les indicateurs ou alarmes pour disjonction, démarrage, désamorçage, etc., et les compteurs horaires, totalisateurs de débit et toutes autres indications particulières (niveaux, ouverture de vanne, etc.).

À l'intérieur de l'armoire sont montés :

— un sectionneur général ;
— les fusibles HPC (Haut Pouvoir de Coupure) et ceux des circuits auxiliaires, et les parafoudres ;
— les équipements de démarrage (direct, étoile-triangle, à résistances statoriques) pour les pompes et équipements annexes ainsi que leur protection ;
— les transformateurs pour l'alimentation des télécommandes, des signalisations et des circuits de sécurité ;
— et des accessoires tels que thermostat, condensateurs, éclairage de secours, etc. ;
— une mise à la terre.

Les armoires comportent soit une simple signalisation par voyants lumineux, soit un synoptique. Sous les climats chauds et humides, elles doivent comporter des résistances de chauffage.

Les télécommandes peuvent être réalisées par câble pour de courtes distances ou par voie hertzienne après autorisation (fréquence et portée) ; cela implique des antennes avec au besoin un balisage pour la navigation aérienne, mais est plus économique pour de grandes distances.

Les automatismes concernent les pompes ou les auxiliaires. Pour les pompes, les plus fréquents sont l'asservissement à un niveau (aspiration ou refoulement), à une température (circuit de refroidissement), à une pression (groupe hydrophore).

Il faut prévoir les extensions futures et bien spécifier le degré de protection nécessaire selon les normes UTE (Union Technique de l'Électricité) ou les recommandations CEI (Commission Électrotechnique Internationale).

En dehors de l'évolution générale des composants de puissance, l'évolution la plus marquante des armoires électriques est l'emploi des microprocesseurs et des circuits imprimés dans les programmes de commande, ce qui a permis une réduction sensible du volume des armoires, tout en incluant des programmes d'automatisme et de sécurité très complets.

1.4 Prise d'eau : aspiration, dégrillage, tamisage, dessablage et déshuilage

C'est un ensemble très important car, sans aspiration, il n'y a pas de pompage. Il faut donc assurer une aspiration (NPSH) compatible avec un fonctionnement correct de la pompe. En outre, il faut éliminer les impuretés susceptibles de troubler le fonctionnement du pompage (figure **3**).

Nota : NPSH : *Net Positive Suction Head* ou charge nette absolue à l'aspiration.

1.4.1 Détermination du NPSH

Il importe de traiter de façon dynamique les éléments entrant en ligne de compte. En particulier, le dimensionnement et la forme de la prise d'eau ne doivent pas freiner le débit quelles que soient les circonstances (niveau de la rivière, débit pompé, etc.). Si plusieurs pompes doivent aspirer dans la même fosse, il faut tenir compte de leur interaction et mettre des cloisons entre les aspirations. Il faut également estimer les pertes de charge dans les grilles et crépines compte tenu du colmatage.

Pour de petites stations, il faut prévoir large dans le dimensionnement et, pour de grandes stations, faire une étude sur modèle (§ 4.2) qui permettra d'optimiser les formes. Ne pas oublier l'envasement et prévoir le nettoyage.

1.4.2 Dégrillage

Son but est de protéger le pompage des objets flottants pouvant obstruer les circuits ou détériorer les organes mobiles.

L'écartement des barreaux varie de 3 à 25 mm suivant les pompes. La section nette de la grille doit permettre une vitesse de passage de 0,5 à 1m/s. La perte de charge doit être d'environ 0,1 m en eau propre et 0,25 m en eau chargée. Le nettoyage est manuel pour les petites installations et automatique pour les grandes où il faut protéger la **grille mécanique** par une grille statique à barreaux espacés de 50 à 100 mm. L'automatisme est nécessaire si des arrivées brutales de matières flottantes sont à craindre.

Toute reproduction sans autorisation du Centre français d'exploitation du droit de copie est strictement interdite.
© Techniques de l'Ingénieur, traité Génie mécanique

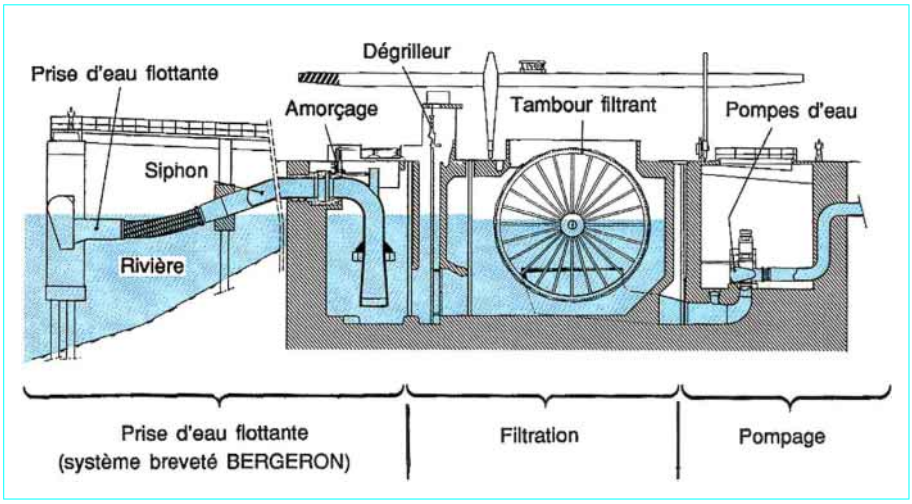


Figure 3 – Exemple de prise d'eau flottante
(d'après doc. Bergeron)

Pour de faibles débits, ces grilles sont remplacées par de simples **crépines**, parfois nettoyables par contre-courant, et dont la section totale des trous doit être égale à trois fois la section de la tuyauterie. La section de chaque trou dépend des impuretés à arrêter. Ces crépines doivent être assez immergées pour éviter les aspirations d'air et placées à plus de 0,5 m du radier.

1.4.3 Tamisage

Son but est d'arrêter les **matières en suspension** de petites dimensions (de 0,2 à 4 ou 5 mm) ou de forme allongée passant à travers les grilles. Il se fait à travers un *tamis métallique* fixe ou rotatif. Pour du microtamisage (élimination du plancton, par exemple), on emploie des *toiles métalliques ou plastiques* avec des mailles de 150 µm ou moins. Ces appareils doivent être protégés par des grilles. La vitesse de passage dans la section nette doit être de l'ordre de 0,3 m/s et la perte de charge peut atteindre 0,5 m.

1.4.4 Dessablage

Son but est d'éliminer les graviers, sables, etc., de dimension variant de 0,2 à 10 mm ce qui s'obtient **par décantation** dans un canal à vitesse lente (environ 0,25 m/s). Une analyse indiquera la masse de sable par mètre cube, sa granulométrie et sa vitesse de sédimentation statique suivant la granulométrie. La surface en mètre carré du canal est égale au débit (en m^3/h) multiplié par 1,5 et divisé par la vitesse de sédimentation statique (en m/h), correspondant à la plus petite granulométrie à éliminer.

Le radier du dessableur pourra être raclé ce qui implique deux canaux parallèles pour un débit continu.

Pour des applications industrielles plus fines, on peut utiliser des hydrocyclones sous pression avec extraction continue, fabriqués par des spécialistes. Cela implique un pompage préalable avec une pompe pour matières abrasives.

1.4.5 Déshuilage

L'élimination des huiles ou graisses peut être conjuguée avec le dessablage en utilisant une aération suivie d'une tranquillisation permettant la reprise en surface.

Le matériel et la conception des installations du paragraphe 1.4 sont en général l'œuvre de spécialistes, en particulier de traiteurs d'eau (cf. articles *Alimentation en eau potable. Besoins et ressources* [C 4 190] du traité Construction).

1.5 Tuyauteries

Nota : le lecteur se reportera utilement à la rubrique Tuyauteries. Appareils à pression du traité Génie industriel.

La pompe ne doit jamais servir d'ancrage aux tuyauteries afin d'éviter le désalignement du groupe, ou même une rupture de bride. Pour les efforts maximaux sur les brides, consulter la norme NF E 44-121 (avril 1986) et la brochure éditée par le Comité européen des constructeurs de pompes.

Faire dès le départ une étude complète du tracé sans oublier l'épaisseur du calorifuge, le diamètre extérieur des brides ni les espaces nécessaires aux démontages.

Déterminer les pentes, les pertes de charge et le NPSH. À proximité des pompes, éviter les coudes et prévoir des prises de manomètres.

Prévoir les butées (aux coudes, tés, extrémités, changements de diamètre) et les ancrages (pour les pentes supérieures à 20 %). Pour les butées, noter que les poussées sont proportionnelles aux pressions (pression d'épreuve) et à la section. Grossièrement, pour un diamètre de 80 mm, la poussée est de 80 daN pour une plaque pleine, un té ou un coude au 1/8 et de 120 daN pour un coude au 1/4, et cela pour une pression de 1 bar.

Afin d'éviter toute mise à la terre fortuite du réseau électrique, prévoir des raccords isolants à l'entrée et à la sortie de la station.

1.5.1 Aspiration

Ne pas lésiner sur les dimensions de celle-ci et, lorsque cela est possible, mettre une tuyauterie d'aspiration par pompe, sauf peut-être dans les cas d'aspiration nettement en charge.

Choisir une vitesse d'aspiration de 1 à 1,5 m/s et éliminer les points hauts en prévoyant une pente constante de 2 à 3 mm/m au minimum. Les convergents doivent être du type excentré.

Si la tuyauterie est en dépression, utiliser des raccordements évitant toute entrée d'air (acier soudé, PVC collé), réduire le nombre de brides, éviter les raccords vissés ou alors les prendre du type « pétrole ».

Il est possible que la tuyauterie d'aspiration soit soumise à la pression du refoulement par suite d'une fuite ou d'un by-pass du clapet de non-retour ; au besoin, protéger cette tuyauterie par une soupape de sûreté noyée sous le plan d'eau.

L'orifice d'aspiration ou le clapet de pied-crépine doivent être noyés sous une hauteur d'eau égale à 3 ou 4 fois le diamètre (au minimum 0,5 m). En outre, ils doivent être à au moins un diamètre des parois verticales et un demi-diamètre du fond avec un minimum de 0,5 m.

Toute reproduction sans autorisation du Centre français d'exploitation du droit de copie est strictement interdite.
© Techniques de l'Ingénieur, traité Génie mécanique

1.5.2 Refoulement

Prendre la précaution de mettre des évents aux points hauts – s'ils ne peuvent être évités – et de placer des vidanges aux points bas.

Sur des pompes opérant en parallèle, on peut relier les tuyauteries de refoulement à un collecteur commun. Les diamètres permettront une vitesse de refoulement de 2 à 4 m/s.

1.6 Robinetterie

Depuis l'aspiration jusqu'au refoulement, on trouve les éléments suivants.

La **crépine d'aspiration** (§ 1.4.2) peut être incorporée au clapet de pied ou omise en cas de liquide clair.

Le **clapet de pied** est indispensable avec les pompes centrifuges installées en dépression à l'aspiration afin de conserver l'amorçage de la pompe. Ne pas oublier qu'à l'arrêt il peut être soumis à la pression de refoulement par des fuites ou des by-pass sur la robinetterie. Si nécessaire, le protéger par une soupape de sûreté (§ 1.5.1). Il peut être utile avec les pompes volumétriques pour éviter un réamorçage.

Son dimensionnement et sa profondeur d'immersion sont indiqués par le fabricant en fonction du liquide, du débit, et du type de pompe (centrifuge, rotative, alternative).

La **vanne d'isolement** est à prévoir si la pompe est en charge, notamment pour permettre le démontage.

Le **clapet de non-retour** est à prévoir sur le refoulement des pompes centrifuges ou rotatives mais inutile sur les pompes alternatives. Il peut être complété par un by-pass permettant l'amorçage de la pompe ou la vidange du refoulement. Un bon fonctionnement du clapet est très important et demande un appareillage de bonne qualité.

Il en existe de modèles très différents : les plus simples sont à battant ou à boule, les plus perfectionnés à obturateur profilé du genre « Pelton » ou à battants multiples avec ressorts de rappel. Les prix, les pertes de charge, les coups de bélier, etc. varient beaucoup d'un type à l'autre et le choix demande de l'attention.

La **vanne de refoulement** permet le démontage ou la visite de la pompe ou du clapet de retenue. Elle permet également un réglage du débit et est utilisée pour démarrer une pompe centrifuge « vanne fermée ».

Une vanne peut également être placée sur le collecteur de refoulement pour permettre un réglage général (cas de plusieurs pompes en parallèle).

Remarques

1) Ne jamais placer de vanne sur le refoulement de pompes volumétriques sans interposer entre la pompe et cette vanne une soupape de sûreté tarée selon la pression maximale de marche de l'installation et cela afin d'éviter un éclatement de la tuyauterie ou la détérioration de la pompe ou du moteur en cas de fonctionnement vanne fermée.

2) Les vannes peuvent être du type à clapet pour les petits diamètres et à opercule pour les plus grands ou, mieux, à papillon étanche ce qui est moins cher, moins encombrant et assure des réglages plus fins. Il existe en particulier des vannes papillon sans brides, qui s'installent « pincées » entre les brides de la tuyauterie.

3) Il est bon de prévoir sur les vannes de refoulement une commande pour servomoteur électrique ou pneumatique ce qui en facilite la manœuvre (surtout dans les grands diamètres ou les fortes pressions) et permet une télécommande ou un asservissement.

En dehors de la robinetterie précédente, il existe la robinetterie particulière suivante.

- **Vannes murales**

Elles sont utilisées pour isoler des sections de citernes, prises d'eau, etc. ; elles sont constituées par un cadre à sceller dans lequel se déplace un obturateur plat, appliqué sur son siège par la pression du liquide et manœuvré par une vis sans fin qui peut être motorisée.

- **Clapet d'extrémité (ou de nez)**

C'est un clapet à battant placé à l'extrémité d'une tuyauterie et utilisé pour éviter un retour d'eau en cas de crue ou de marée.

- **Robinet à flotteur**

C'est un robinet dont le clapet est commandé mécaniquement par un flotteur. Il se ferme à un niveau haut et s'ouvre lorsque ce niveau baisse, maintenant un niveau constant dans un réservoir. Pour son montage, éviter les remous provoqués par l'arrivée d'eau en le plaçant dans une cheminée ou bien faire déboucher l'arrivée 0,5 m plus bas que la position basse du flotteur.

Évolution de la robinetterie

Les clapets de retenue se sont grandement améliorés dans leur conception et leur fiabilité. Leur exécution est avec corps en fonte jusqu'à 150 mm et 16 bar, en acier soudé au-dessus. Les corps de vannes ou de clapets se font aussi en fonte revêtue époxy, de qualité alimentaire.

Des évolutions importantes se sont produites avec le développement des vérins de commande (électriques, pneumatiques ou hydrauliques) et celui des vannes à papillon étanches.

En ce qui concerne les matériaux, le lecteur se reportera au paragraphe 1.1.7.

1.7 Protections et alarmes

Nota : le lecteur, pour plus de détails, pourra se reporter aux articles *Protection des réseaux. Protection des installations industrielles et tertiaires* [D 4 820] dans le traité Génie électrique.

1.7.1 De type électrique ou mécanique

L'ensemble de ces protections doit supprimer tout risque d'incident électrique ou mécanique dommageable pour le personnel (locaux humides) ou les équipements :

— protection anti-foudre et sectionneurs pour transformateurs ;
— disjoncteur en tête isolant l'installation en cas de surtension ;
— disjoncteurs différentiels 30 mA de protection des circuits d'éclairage et de prises de courant et fusibles pour les circuits auxiliaires ;
— protection contre l'échauffement des moteurs ;
— protection contre les surintensités par relais thermiques ;
— relais voltmétrique provoquant la coupure de l'alimentation électrique en cas de baisse excessive de tension ou d'absence d'une phase ou d'inversion de phase ;
— protection contre l'échauffement des paliers ou l'arrêt du système de refroidissement ;
— protection contre la mauvaise position des vannes au démarrage ;
— protection contre la panne de dégrilleur ;
— protection contre la survitesse pour les turbines ou moteurs thermiques ;
— protection contre le manque de pression d'huile ;
— circuits de sécurité en 24 V.

Toute reproduction sans autorisation du Centre français d'exploitation du droit de copie est strictement interdite.
© Techniques de l'Ingénieur, traité Génie mécanique

1.7.2 De type hydraulique

L'ensemble de ces protections doit supprimer tout risque d'incident ayant pour origine le liquide véhiculé et sa circulation.

Protection anti-bélier (cf. article *Écoulement des fluides dans les tuyauteries* [A 738] dans le traité Génie mécanique)

Il n'est pas possible de donner ici le mode de calcul d'un anti-bélier. Signalons simplement que l'onde de pression qui caractérise le coup de bélier est d'autant plus importante que la conduite est plus longue, que la vitesse du liquide est plus élevée, qu'il y a des points hauts et que les fermetures (clapets ou vannes) sont plus rapides.

Les protections sont :

— le volant d'inertie sur le groupe motopompe (évite l'arrêt brusque de la pompe) ; il ralentit également le démarrage ce qui peut demander une modification du mode de démarrage ; il est peu employé ;
— les entrées d'air aux points hauts pour casser les dépressions ;
— les soupapes de sûreté limitant les surpressions ;
— les clapets de non-retour percés, ou avec by-pass calibré, pour limiter l'effet de leur fermeture ;
— la cheminée d'équilibre utilisable pour de faibles hauteurs de refoulement ;
— les ballons sous pression d'air ou de gaz, avec membranes de séparation liquide-gaz, qui constituent le système le plus utilisé.

Le choix de la solution doit être confié à un spécialiste.

Niveau bas à l'aspiration

La protection est assurée par un interrupteur à flotteur ou par des électrodes noyées dans le liquide ou par un système bulle à bulle.

Désamorçage

Le contrôle du niveau à l'aspiration ne constitue pas une protection complète contre le désamorçage car une élévation de température, par exemple, modifie le NPSH disponible. Il existe des relais à minimum d'intensité qui assurent cette protection mais ils doivent être temporisés à la mise en route ce qui les rend inopérants pendant cette période. Il en est de même pour les manomètres à contact placés au refoulement. En revanche, il existe des appareils contrôlant la circulation du liquide.

Température

Un thermostat assure une protection contre le gel aussi bien que contre une température trop élevée. Pour les pompes immergées, le rotor du moteur baigne souvent dans un mélange eau-antigel protégeant jusqu'à – 5 °C.

Manœuvre contrôlée des vannes de refoulement

Généralement, pour l'arrêt des pompes centrifuges, une temporisation assure une fermeture progressive et arrête le groupe une fois la vanne fermée ; inversement, le démarrage ne peut se faire que vanne fermée. Toutefois, de nombreuses installations fonctionnent avec démarrage et arrêt vanne ouverte. Pour les pompes volumétriques, on peut prévoir l'inverse.

Dispositif anti-dévirage

Sur les pompes verticales avec un moteur en surface (type forage), il empêche la rotation en sens inverse du sens normal qui se produit à l'arrêt lors de la vidange de la tuyauterie. C'est un dispositif mécanique genre « roue libre ». Un dévirage entraîne le dévissage des arbres de transmission et la détérioration du moteur par remontée de la ligne d'arbre.

Rupture de conduite

Le contrôle est fait soit par un débitmètre avec point de consigne, soit par un manomètre à contact au refoulement (court-circuité au démarrage). Une hausse du débit ou une chute de pression déclenchent l'alarme.

Conduite obstruée (vanne fermée, par exemple)

Un manomètre à contact (court-circuité au démarrage) signale la hausse de pression.

Échauffement du liquide pompé

Cela peut se produire sur une pompe centrifuge lors d'une marche vanne fermée. Un thermostat déclenche l'ouverture d'un by-pass calibré assurant un minimum de débit ou l'arrêt de la pompe.

1.8 Régulation

Les systèmes de régulation ne peuvent pas être de même nature sur les pompes centrifuges et sur les pompes volumétriques puisque les caractéristiques (débit, hauteur, puissance) ne varient pas de la même façon.

Le tableau 1 résume les réglages possibles.

L'évolution de la régulation résulte de trois facteurs :

— le développement des vannes motorisées (à membranes, à vérin, à moteur électrique) ; si elles ont été développées en raison des efforts requis par la manœuvre de vannes de grands diamètres ou pour pressions élevées, cela a permis de les utiliser en régulation ;
— la transmission des informations par radio sans la sujétion des câbles ;
— l'utilisation de moteurs à vitesse variable, régulés par une grandeur telle qu'un niveau, une pression, etc.

Sur un plan plus général, le développement de l'électronique et de la programmation permettant la résolution de problèmes complexes par ordinateur, a également participé à cette évolution.

1.9 Mesures et sécurités

Nota : se reporter aux nombreux articles spécialisés dans le traité Mesures et Contrôle.

1.9.1 Mesures

Les plus importantes, indispensables en pratique, sont : la pression d'aspiration, la pression de refoulement, l'intensité et la tension du courant.

Les plus utiles sont : le débit, la vitesse de rotation (si variable), la puissance et le facteur de puissance (cos φ).

Les autres mesures particulières sont : le volume (totalisateur), les heures de marche, les vibrations, les pressions d'admission et d'échappement (turbines ou pompes à vapeur), le volume de carburant (moteur thermique), les températures et les niveaux.

Pour les pompes alternatives et certaines pompes rotatives, utiliser des manomètres avec amortissement (dans la glycérine, par exemple) pour éviter les à-coups sur le mouvement des manomètres.

Suivant les lieux, ces mesures peuvent être locales et reportées sur une armoire ou sur un pupitre avec ou sans synoptique ; elles peuvent également être enregistrées.

1.9.2 Sécurités

Elles doivent éviter les fausses manœuvres manuelles ou automatiques, par exemple :

— interdiction du démarrage ou arrêt en cas de désamorçage (niveau bas, pression d'aspiration insuffisante, température trop élevée, etc.) ;
— interdiction du démarrage ou arrêt en cas de vanne fermée au refoulement d'une pompe volumétrique ;
— blocage de la rotation en sens inverse pour éviter le dévirage (§ 1.7.2) ;
— blocage de vannes en position de fermeture ou condamnation de circuits en cours de travaux.

Toute reproduction sans autorisation du Centre français d'exploitation du droit de copie est strictement interdite.
© Techniques de l'Ingénieur, traité Génie mécanique

Tableau 1 – Systèmes de régulation possibles

	Pompes centrifuges	Pompes volumétriques
Réglage du débit par tout ou rien		
Mise en route ou arrêt du moteur par : — bouton poussoir ; — contrôleur de niveau ; — thermostat ; — pressostat.	Une variation de pression modifie le débit et la puissance avant même l'arrêt.	Une variation de pression modifie uniquement la puissance.
Ouverture ou fermeture d'une vanne :	Ne pas laisser la pompe tourner vanne fermée.	La fermeture doit entraîner l'arrêt de la pompe ou l'ouverture d'une soupape de sûreté.
Contrôle par un niveau :	La remise en route peut se faire vanne ouverte avec un couple plus élevé. La tuyauterie d'aspiration peut être soumise à la pression de refoulement.	La remise en route doit se faire de préférence sans pression d'où le besoin d'une purge automatique.
Réglage par modification des caractéristiques débit-pression		
Par la vitesse du moteur d'entraînement : — moteur électrique à vitesse variable ; — turbine ; — moteur thermique.		
Par la transmission : — variateur à courroies ; — transmission hydraulique ; — glissement électromagnétique.		
Par une vanne de régulation asservie :	Éviter la marche vanne fermée.	Ne peut pas régler le débit mais seulement la pression qui peut monter dangereusement pour la pompe ou le moteur.
Par une fuite contrôlée au refoulement :		Permet un réglage simple mais instable du débit.

Dans tous ces réglages, penser que :
— pour une pompe centrifuge, le débit, la hauteur, la puissance varient respectivement comme la vitesse, son carré et son cube. Le point de fonctionnement est à l'intersection de la caractéristique de la pompe et de celle du circuit ;
— pour une pompe volumétrique, le débit varie comme la vitesse ; la pression est imposée par le circuit et le débit, et la puissance est le produit du débit par la pression.

Dans tous les cas, il est bon de reporter sur l'armoire ou le pupitre de contrôle une alarme signalant le fonctionnement de la sécurité.

1.10 Levage, manutention

Les moyens de manutention pour l'installation et l'entretien sont à étudier pour chaque cas. Toutefois, une fois le montage terminé, la manutention servira uniquement à l'entretien (quelques levages par an). Sauf pour les très grosses installations, le matériel lourd de levage restera longtemps sans servir et se dégradera. Le coût en est élevé car il entraîne un surplus de dépenses de génie civil et il peut être plus simple de prévoir des orifices dans la toiture permettant l'emploi de grues mobiles. Enfin, certains éléments (ballons anti-bélier) qui sont parmi les plus lourds n'exigent pratiquement aucune manutention d'entretien.

1.11 Entretien et pièces de rechange

L'**entretien** d'une station de pompage doit être défini avant la mise en service. Il doit comprendre :

— le contrôle de tous les éléments sujets à usure et, en particulier, les roulements, paliers, butées, l'appareillage électrique et de contrôle ;
— des essais mensuels pour les machines en secours ;
— la révision après un certain nombre d'heures de marche ou de manœuvres selon ce qui est indiqué par le constructeur ;
— un programme d'essai des sécurités, alarmes, voyants.

Par ailleurs, on doit disposer des plans de récolement, des notices d'entretien, des certificats d'essai et des notes de calcul.

Les **pièces de rechange** et leur quantité sont à choisir en fonction de l'importance du service à assurer, du délai de livraison, du nombre de secours en place, de l'éloignement du fournisseur, de la durée du transport, des formalités d'importation et de dédouanement, etc.

Il faut, dans le choix à faire, distinguer les pièces standards du commerce pouvant être achetées chez un revendeur local et celles qui ne peuvent être livrées que par le fabricant d'appareils.

En première importance et d'un point de vue seulement technique, le stock minimal doit comprendre :

— des roulements, coussinets, butées ;
— des joints de toutes sortes (pour pompes, robinetterie, brides) ;
— des garnitures d'étanchéité, mécaniques ou à tresse, pour pompes, robinetterie, etc. ;
— des chemises d'arbre ;
— des pièces d'usure des pompes et des moteurs (bagues, par exemple) ;
— des lampes pour signalisation électrique ;
— des fusibles, bobines de contacteurs, micro-contacts ;
— des segments ou garnitures de vérins de commande ;
— des clapets pour pompes alternatives, soupapes ;
— des pièces d'usure des accouplements ;
— des matières consommables.

Toute reproduction sans autorisation du Centre français d'exploitation du droit de copie est strictement interdite.
© Techniques de l'Ingénieur, traité Génie mécanique

1.12 Chauffage et ventilation

Suivant le climat, on pourra prévoir :

— le chauffage de la salle de contrôle ;

— le chauffage des salles de pompage s'il y a risque de gel ou de figeage, en particulier en période d'arrêt. Les calories dégagées par les moteurs peuvent être utilisées. Dans les lieux humides, on peut réchauffer les bobinages des moteurs et les armoires électriques.

Pendant les périodes chaudes, les calories peuvent être évacuées par des gaines vers l'extérieur. Une ventilation peut être contrôlée par thermostat ou bien on peut construire des installations de pompes sans murs extérieurs.

1.13 Divers

Téléphone

Il est d'autant plus nécessaire que la station est plus isolée. Au besoin, mettre un système d'appel sonore et lumineux adapté au bruit.

Protection incendie

Elle est d'autant plus importante que la station est plus isolée, comporte des réserves de matières inflammables, ou véhicule des produits dangereux. Si la station alimente un réseau de lutte contre l'incendie, prévoir son isolement du reste des bâtiments, un éclairage de secours individuel, des groupes fixes ou mobiles entraînés par moteurs thermiques, ou un groupe électrogène.

Éclairage

Prévoir un éclairage général, des éclairages mobiles pour les réparations ou l'entretien. Ne pas oublier d'éclairer la prise d'eau.

Réchauffage, calorifugeage

Contre le gel ou une augmentation de viscosité, prévoir le calorifugeage ou même le réchauffage des tuyauteries par cordon électrique ou traçage à la vapeur. Les pompes (spéciales) peuvent être réchauffées par un chemisage de vapeur.

Atelier

Si la station ne dispose pas à proximité d'un atelier d'entretien, prévoir une installation comportant au moins le matériel de démontage (clés dynamométriques-arrache-moyeux, etc.), de levage (palans), de transport (chariots), de soudure, d'ajustage, de contrôle électrique, etc.

Secours

Le poste de premier secours sera d'autant plus important que l'isolement est plus grand.

1.14 Coût relatif des équipements

Ce qui suit n'est qu'une approximation destinée à attirer l'attention sur les valeurs relatives des différents éléments constitutifs :

— pompes ..... 15 %
— moteurs électriques ..... 15 %
— robinetterie ..... 20 %
— armoires électriques ..... 30 %
— tuyauteries ..... 10 %
— mesures et sécurités ..... 7 %
— rechanges ..... 3 %

Ne sont pas comptés ci-dessus des postes très variables tels que les études, la régulation, la prise d'eau, les protections hydrauliques, etc.

Cette comparaison a pour but de mettre en valeur l'importance de la partie électrique et celle de la robinetterie.

2. Détermination des données de base

Pour choisir la pompe satisfaisante, il faut définir les données de base, c'est-à-dire :

— le lieu d'installation (site, climat, énergie disponible, altitude, normes, etc.) ;

— les caractéristiques hydrauliques (débit, hauteur, liquide véhiculé, température, viscosité, etc.) ;

— les conditions d'exploitation (service permanent ou intermittent, débit constant ou variable, etc.) ;

— le coût de l'exploitation (somme des coûts de l'énergie, de la main-d'œuvre d'exploitation et d'entretien, des matières consommables, des pièces de rechange). Une comparaison de plusieurs solutions est utile : en particulier, pompage continu sur 24 h, avec stockage éventuel, ou sur 8 h ; service assuré par une ou plusieurs pompes ; personnel permanent, ou automatisme ou surveillance centralisée à distance, alarmes, télécommandes et rondes périodiques. Ce calcul doit bien sûr être associé à celui des amortissements correspondants, y compris celui du génie civil.

Ces données peuvent réagir les unes sur les autres (un changement de site peut modifier le NPSH) et certaines ont plus d'importance que d'autres. Pour ces raisons, les données de base sont passées en revue dans le tableau **2**. Sa lecture permet de retenir les quelques données propres au cas considéré et évite d'oublier celles auxquelles on ne pense pas toujours. Les plages de variation des grandeurs doivent être mentionnées. Il faut réfléchir à l'influence de chaque grandeur pour que le choix de la pompe soit fait correctement par le fournisseur qui proposera toujours la solution la moins chère répondant aux critères imposés : une donnée importante oubliée et le matériel ne convient pas ; une exigence inutile entraîne un coût plus élevé que nécessaire.

Ce tableau comporte une liste de données susceptibles d'influer sur la pompe : type, construction et matériaux (repérés par un astérisque), ainsi que sur certains autres éléments de l'installation.

Le choix des matériaux de construction de la pompe dépend à la fois de la corrosion par le liquide pompé ou l'ambiance environnante (l'utilisateur pouvant intervenir en fonction de son expérience) et de la résistance mécanique nécessaire en fonction de la pression, de la température, des dimensions, etc. (ce qui est du domaine du constructeur). Pour ces raisons, le choix des matériaux sort du domaine de cet article.

2.1 Types de pompes

On distingue les types suivants :

— **centrifuge**, le plus utilisé ;

— **rotatif** (volumétrique à rotor tournant) ;

— **alternatif** (volumétrique à piston faisant des allers-retours dans un cylindre). Le piston peut être remplacé par un plongeur (une simple tige) ou une membrane. Plusieurs cylindres peuvent être accolés en parallèle. Un piston peut être à simple ou double effet alors qu'un plongeur est toujours à simple effet.

Ces types ont des caractéristiques très différentes et leurs zones d'application sont données par la figure **4** (cf. également articles spécialisés dans cette rubrique).

Les *pompes à piston* sont adaptées à des débits beaucoup plus importants que les pompes à plongeurs. En revanche, elles sont limitées à des pressions de 30 à 40 bar au refoulement ; au-delà, il faut utiliser des pompes à plongeurs, jusqu'à environ 2 500 bar et 250 L/h. Les pompes à piston vont jusqu'à 200 m^3/h mais ce sont alors de vrais monstres, le débit jouant beaucoup sur les dimensions et le poids.

Toute reproduction sans autorisation du Centre français d'exploitation du droit de copie est strictement interdite.
© Techniques de l'Ingénieur, traité Génie mécanique

Tableau 2 – Données de base influant sur le type, la construction et les matériaux de la pompe, ainsi que sur d'autres éléments

Données	Type	Construction	Matériaux	Autres éléments
Débit total à assurer :				
constant (même intermittent) ou variable	*	*		nombre de pompes et de moteurs
Liquide véhiculé :				
— liquide neutre, solvant, corrosif ou non	.....	.....	*	
— liquide propre, chargé (dimension et nature des particules)	*	*	*	protection de la pompe (§ 1.4)
— température maximale-minimale		*	*	
— pression de vapeur maximale-minimale		*		NPSH disponible
— densité maximale-minimale		*		puissance
— viscosité	*	*		vitesse, puissance et installation
Conditions d'aspiration :				
— hauteur géométrique maximale-minimale		*		tuyauterie d'aspiration
— hauteur manométrique	*	*		
Conditions de refoulement :				
— hauteur géométrique maximale-minimale		*	*	variation de débit et tuyauterie de refoulement
— hauteur manométrique	*	*	*	
Hauteur totale manométrique :				
constante ou variable	*	*	*	puissance du moteur et débit
Nature du service :				
sévère ou facile, intermittent ou occasionnel		*	*	nombre de pompes, secours et entretien
Nombre de pompes requis :				
— pour assurer débit et hauteur		*	*	en série ou en parallèle
— pour le secours	.....	.....	.....	type du moteur
— pour d'autres conditions	.....	.....	.....	puissance au démarrage et étude économique
Mode d'entraînement :				
— couple de démarrage et puissance maximale	.....	.....	.....	choix du moteur et mode de démarrage
— vitesse fixe ou variable	.....	.....	.....	choix du moteur
— type de moteur	.....	.....	.....	accouplement ou transmission
Mode de démarrage :				
manuel ou automatique	.....	.....	.....	sécurités
Caractéristiques de l'installation :				
— neuve ou existante	*	*	*	
— couplage avec autres pompes	*		*	
— automatisme	.....	.....	.....	sécurités
— nature du pompage	.....	.....	.....	(§ 3)
Caractéristiques de la salle des pompes :				
— place disponible		*		
— masse à manutentionner	.....	.....	.....	engins de levage
— salle fermée ou en plein air	.....	.....	.....	protections
— en surface ou en fosse, emplacement inondable ou non		*		emplacement et type du moteur
— situation par rapport à la source de liquide pompé	*	*		
Caractéristiques du site :				
— altitude, température, humidité		*		NPSH, puissance du moteur thermique et isolation électrique
— particularités : poussières, bruit, air salin, etc		*	*	protection du moteur et insonorisation
Disposition des groupes :				
fixes ou mobiles		*		moteur et tuyauteries
Exigences particulières :				
— garnitures		*		
— amorçage automatique		*		
— position des orifices		*		
— matériaux			*	
— standardisation		*	*	
— coût d'investissement ou d'exploitation		*	*	
— essais de réception	.....	.....	.....	prix et délai

Toute reproduction sans autorisation du Centre français d'exploitation du droit de copie est strictement interdite.
© Techniques de l'Ingénieur, traité Génie mécanique

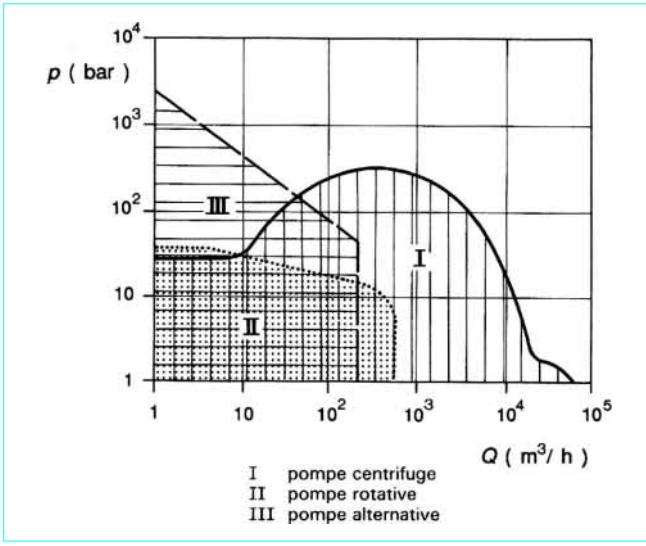


Figure 4 – Domaines d'utilisation des pompes

Les *pompes centrifuges* conviennent pour tous les débits sauf les très faibles (< 1 m^3/h) et elles sont les seules à véhiculer des débits supérieurs à 500 ou 600 m^3/h. Leur encombrement et leur poids sont réduits. Elles délivrent des hauteurs manométriques jusqu'à 3 000 m et des débits jusqu'à 15 000 m^3/h et plus. Les pompes hélice sont des pompes à très grand débit mais faible hauteur (50 000 m^3/h et jusqu'à 10 m).

Les *pompes rotatives* sont intermédiaires entre les deux types précédents.

En dehors des limites de la figure **4**, il reste la possibilité de coupler les pompes en série ou en parallèle.

2.2 Construction

Il ne s'agit pas des matériaux de construction mais des particularités des pompes.

Disposition de l'axe

Horizontal, vertical (§ 1.1).

Disposition du plan de joint

Horizontal ou vertical, qui s'entend toujours pour une pompe à axe horizontal même si elle est disposée verticalement.

Lors du démontage d'une pompe centrifuge horizontale, on accède au rotor en enlevant la moitié supérieure du corps lorsqu'il est constitué de deux demi-coquilles assemblées suivant un plan horizontal ; les tuyauteries restent fixées sur la partie inférieure et le moteur reste en place. C'est le type « à plan de joint horizontal » (figure **5**), limité suivant la taille de la pompe à une pression de 150 (grande taille) à 250 bar (petite taille) et à une température de 150 °C environ. Pour des pressions et des températures plus élevées, il faut un joint circulaire dans un plan vertical ; le démontage est facilité par une pièce d'écartement entre les deux demi-accouplements dont la longueur doit permettre, après son démontage, de retirer le rotor sans toucher au corps de pompe ni au moteur ; cela n'est évidemment pas possible avec une pompe monobloc.

Disposition des orifices

Horizontaux (en bout ou latéraux) ou verticaux (vers le haut ou vers le bas).

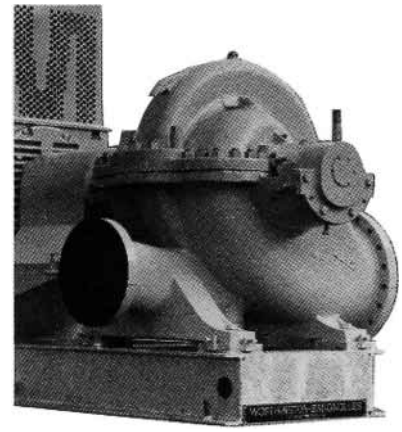


Figure 5 – Pompe à plan de joint horizontal, avec orifices horizontaux latéraux (d'après doc. Worthington)

Chemises de réchauffage ou de refroidissement

Pour les liquides visqueux ou très chauds, on équipe les pompes de chemises de réchauffage (eau chaude ou vapeur) ou de refroidissement (au-delà de 150 °C). Pour ces températures ou les grandes puissances, les paliers sont également refroidis, éventuellement par une circulation d'huile à travers un réfrigérant.

Formes de roue

Il existe des roues fermées, à canaux, ouvertes ou tourbillon, mentionnées dans le paragraphe 3, et décrites à la figure **18**. Dans les roues fermées, on distingue le type *radial* (couramment appelé *centrifuge*) et le type *hélicocentrifuge.*

Boîte à étoupe

À l'origine, c'est un bourrage de matériau souple et lubrifié assurant l'étanchéité entre une partie fixe (corps de pompe) et une partie mobile (tige de piston, arbre de pompe). Lorsque la pompe aspire en dépression, on évite les entrées d'air en injectant dans cette boîte une partie du liquide pompé s'il est propre, de l'huile, de la graisse ou un liquide propre miscible avec le liquide pompé s'il est chargé ; cela réduit aussi l'usure de la tige ou de l'arbre. Si le liquide est volatil, on arrose à l'eau froide le chapeau de presse-étoupe pour condenser le maximum de vapeur et réduire sa diffusion dans la station. Enfin, si le liquide est chaud (> 150 °C), une chemise de refroidissement réduira la température.

Actuellement, la plupart des garnitures à tresse sont remplacées par des garnitures mécaniques assurant une étanchéité complète alors qu'une tresse doit laisser échapper quelques gouttes. Mais cette solution est incompatible avec un liquide incrustant, chargé ou corrosif et, dans ce cas, on utilise une garniture double. Il faut prévoir les arrivées et évacuations nécessaires aux liquides d'arrosage, de refroidissement, de fuites, etc., selon les instructions du constructeur.

Nota : le lecteur pourra se reporter utilement à l'article *Étanchéité en mécanique* [B 5 420] dans ce traité.

Supports et socles

Les pompes horizontales reposent généralement sur un socle par des pattes situées à la partie inférieure du corps. Pour une température de liquide supérieure à 150 °C, la dilatation du corps provoque un désalignement et, dans ce cas, il faut placer les pattes à peu près au niveau de l'axe de la pompe (figure **33**) ; pour des températures supérieures à 250 °C, la partie « support » du socle doit être refroidie et le socle doit guider la dilatation longitudinale de la pompe.

Toute reproduction sans autorisation du Centre français d'exploitation du droit de copie est strictement interdite.
© Techniques de l'Ingénieur, traité Génie mécanique

Pour des liquides dangereux, les socles doivent être équipés d'une plaque inclinée avec un orifice d'évacuation des fuites et être revêtus d'une matière anticorrosion (peinture, acier inoxydable, lave, etc.). Il faut prévoir les raccordements correspondants.

Enfin, penser aux démontages qui donneront lieu à des vidanges d'installation et prévoir l'évacuation ou la récupération des liquides suivant leur nature.

Accouplements. Transmissions

Prévoir des protections efficaces mais faciles à démonter et suffisamment rigides pour éliminer les vibrations désagréables.

En cas de variations de température, utiliser des accouplements métalliques, à denture interne ou à lamelles flexibles, ou à ressorts, qui peuvent supporter un léger désalignement. Une pièce d'écartement facilitera le démontage des pompes à plan de joint vertical.

Nota : le lecteur pourra se reporter utilement à l'article consacré aux accouplements dans ce traité.

Dispositif antipulsations

Avec des pompes alternatives, et même certaines pompes rotatives, la mise en pression du liquide est saccadée et ces pulsations peuvent être gênantes. On peut y remédier en plaçant sur le refoulement un réservoir à pression d'air ou d'azote, avec membrane séparatrice entre le gaz et le liquide. Les mêmes réservoirs, placés sur l'aspiration, peuvent augmenter le NPSH disponible.

Pompes auto-amorçantes

Sont auto-amorçantes par nature toutes les pompes volumétriques.

Les pompes centrifuges aspirent à environ 5 à 6 m, *quel que soit le fluide véhiculé*. Lorsque ce fluide est de l'air (installation vide), cette hauteur, convertie en pression pour la comparer à la pression atmosphérique, ne permet d'élever le niveau du liquide à aspirer que de quelques millimètres ; de plus, une pompe centrifuge ne doit jamais fonctionner sans liquide sous peine de grippage.

Une pompe centrifuge doit donc être amorcée soit par un moyen externe (remplissage de la pompe et de la tuyauterie d'aspiration avec le liquide à pomper, liaison à une pompe à vide, à un éjecteur, à un réservoir de vide, etc.), soit par un moyen interne : c'est alors une pompe auto-amorçante.

Parmi ces moyens internes, citons :

— la décantation où **la pompe elle-même est noyée** dans un corps contenant une réserve d'eau qui, en recirculant dans la pompe, entraîne l'air vers le refoulement par émulsion : construction simple, emploi facile, mais disposition horizontale seulement et amorçage lent. C'est la solution utilisée pour les pompes de chantier, les pompes domestiques, les pompes pour piscines, pour des débits jusqu'à 50 m^3/h environ ;

— la **pompe à canal latéral**, qui est une pompe centrifuge « multi-étagée » à une seule roue, pouvant véhiculer un mélange liquide-gaz. Il suffit de remplir la pompe seule une fois et elle s'amorce. Les avantages sont la disposition horizontale ou verticale, et la possibilité de combiner des étages centrifuges avec des étages à canal latéral (figure 6) permettant des débits jusque vers 200 m^3/h au lieu de 30 pour la pompe à canal latéral seul. Cela permet aussi de très bas NPSH, jusqu'à 0,1 m, mais pour des débits de 1 à 4 m^3/h. Les inconvénients sont un prix élevé et un pompage limité aux liquides propres contrairement au type précédent. Il faut empêcher le siphonnage et le dévirage. Les applications sont les produits moussants, les hydrocarbures, les gaz liquéfiés et les condensats ;

— la **pompe à anneau liquide**, constituant un étage auxiliaire dans la pompe principale, avec un liquide indépendant de celui pompé. C'est une vraie pompe à vide humide, volumétrique, où le liquide auxiliaire joue le rôle de piston hydraulique. Cette pompe à vide peut être incorporée dans une pompe centrifuge, sur le même arbre, pour des débits allant jusqu'à 50 ou 100 m^3/h. Pour des débits plus importants, la pompe à vide est séparée de la pompe principale et raccordée au point haut de l'installation à amorcer ; on ne peut donc plus parler de pompe auto-amorçante mais de dispositif d'amorçage. Le fonctionnement se fait horizontalement ou verticalement.

2.3 Autres éléments

2.3.1 Grandeurs physiques

2.3.1.1 Viscosité

Elle influe de façon très différente selon le type de pompe.

Les *pompes alternatives* fonctionnent normalement jusqu'à une viscosité de 10 E. Au-delà, il faut réduire la vitesse selon les instructions du constructeur. Plus les pompes sont rapides, plus la réduction est importante.

Les *pompes centrifuges* sont très sensibles à la viscosité et, en pratique, il ne faut pas dépasser 20 à 30 E. À titre d'exemple, la figure 7 montre la déformation des courbes caractéristiques.

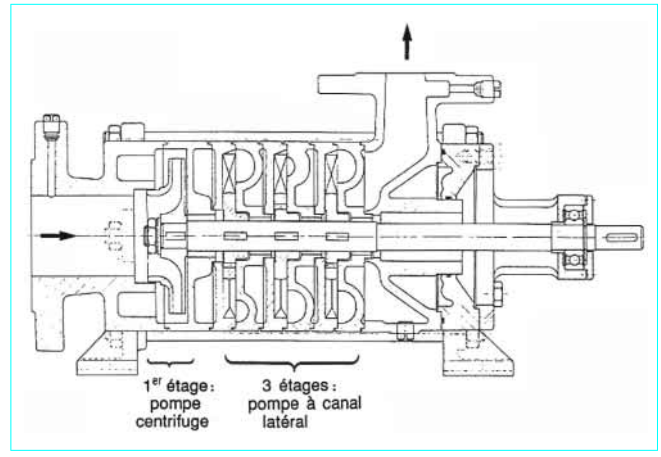


Figure 6 – Association pompe centrifuge-pompe à canal latéral
(d'après doc. SERO)

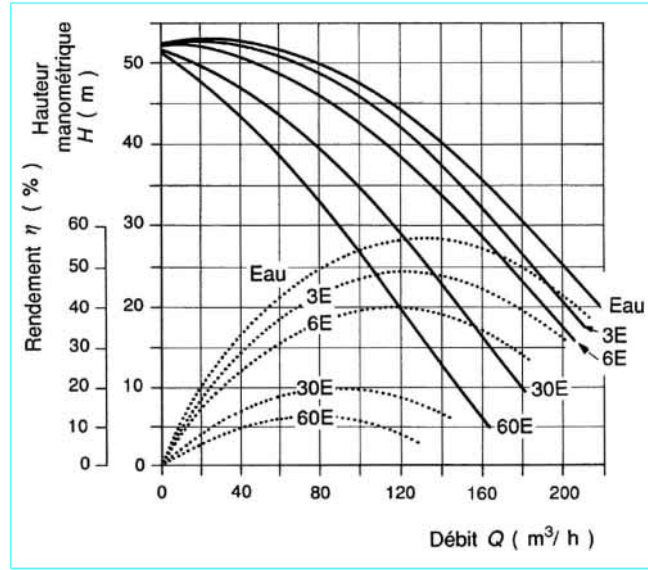


Figure 7 – Influence de la viscosité (en E) sur les courbes caractéristiques *Q–H* des pompes centrifuges

Toute reproduction sans autorisation du Centre français d'exploitation du droit de copie est strictement interdite.
© Techniques de l'Ingénieur, traité Génie mécanique

Les *pompes rotatives* sont les mieux adaptées aux viscosités élevées. Leur vitesse n'est réduite qu'à partir de 30 E et elles peuvent véhiculer de véritables pâtes.

Nota : on rappelle que :

$$\text{degré Engler (E)} = \frac{\text{temps d'écoulement de 200 cm}^3\text{ de fluide}}{\text{temps d'écoulement de 200 cm}^3\text{ d'eau à 20 °C}}$$

2.3.1.2 Hauteurs d'aspiration

Les hauteurs d'aspiration indiquées sont manométriques, valables au niveau de la mer et hors pression de vapeur.

C'est un élément capital car, sans aspiration, il n'y a pas de débit et, de plus, la pompe se détériore. Si elle aspire mal, son débit est irrégulier et l'installation est soumise à des chocs (cavitation).

■ *Pompe alternative :* bonne aspiration de 7 à 8 m en eau froide pour les pompes à vapeur. Pour les pompes mécaniques fonctionnant à 30 m/min, la hauteur est ramenée à 5 à 6 m. Pour les pompes mécaniques rapides, l'aspiration est faible sinon négative.

■ *Pompe centrifuge :* aspiration de 9,5 m au maximum pour des pompes spéciales et 7 m au maximum pour des pompes normales. Pour des pompes alimentaires de chaudière ou de pipe-line dont la vitesse de rotation est généralement égale ou supérieure à 3 000 tr/min, il faut souvent prévoir une charge à l'aspiration. La hauteur d'aspiration est fonction des dimensions et des types de roue, des vitesses de rotation, des liquides pompés et de leur température. En général, plus l'ouïe de la première roue est grande, meilleure est l'aspiration ; les roues à double entrée ont une meilleure aspiration.

■ *Pompe rotative :* aspiration la meilleure, de l'ordre de 9 m.

En fait, on parle de plus en plus, et avec logique, de NPSH requis ou disponible.

2.3.2 Moteurs d'entraînement

Il faut que, pendant toute la période de démarrage, le couple moteur soit supérieur au couple résistant.

Pour une pompe centrifuge (ou radiale), le couple au décollage est de l'ordre de 10 à 25 % du couple à pleine charge (figure 8). Noter que les courbes de puissance en fonction du débit varient comme sur la figure 9. **Il faut donc déterminer la puissance maximale demandée par la pompe en fonction de la plage de hauteur manométrique totale.** Un pompe refoulant sous une grande hauteur géométrique ne peut jamais dépasser un certain débit, donc une certaine puissance.

Cependant, pour les pompes hélicocentrifuges (ou semi-axiales) ou hélice (ou axiales), la puissance maximale se situe souvent à débit nul et doit donc être prise en compte. Il en est de même pour les pompes à canal latéral.

Pour une pompe volumétrique, le couple au décollage est d'environ deux fois le couple à pleine charge et, pour des puissances importantes, il faut prévoir un démarrage sans pression, par by-pass avec retour du liquide dans la bâche d'aspiration.

Prendre une marge de sécurité pour tenir compte des erreurs dans le calcul des hauteurs, du serrage exagéré d'un presse-étoupe (sensible sur une puissance inférieure à 2 kW), des variations de tension, etc.

Cette marge est d'environ :

- 50 % au-dessous de 2 kW
- 25 % entre 2 et 4 kW
- 15 à 10 % au-dessus de 4 kW.

Elle s'applique sur la puissance calculée pour les densités et viscosités les plus élevées, les hauteurs les plus défavorables.

Pour un entraînement par courroies, prendre un rendement de transmission égal à 95 % et, pour un engrenage, voir avec le fabricant ; dans les deux cas, choisir un rapport de 5 environ entre les vitesses.

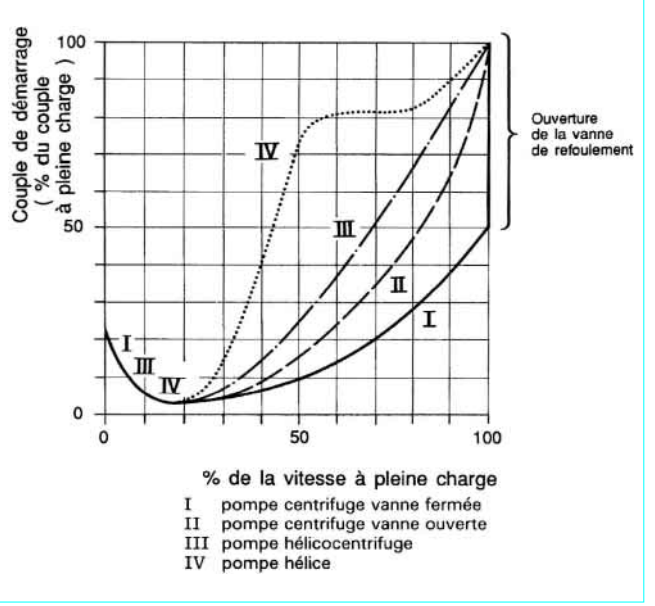


Figure 8 – Variation schématique du couple de démarrage en fonction de la vitesse

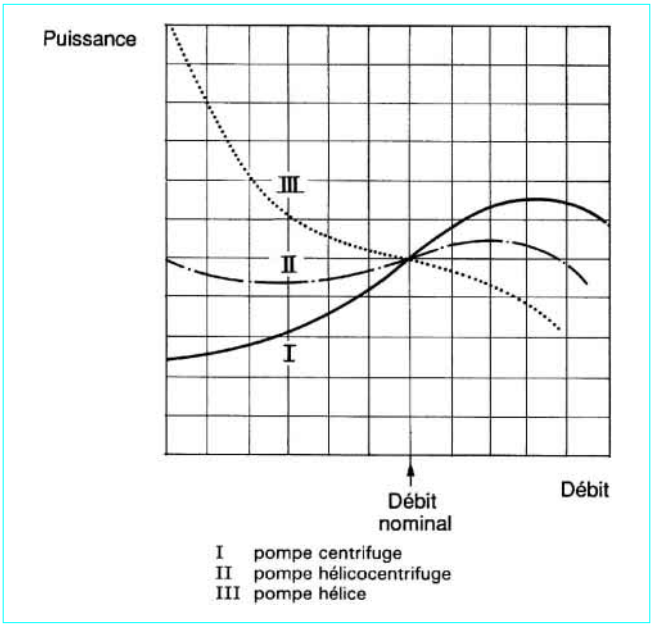


Figure 9 – Évolution type des courbes de puissance en fonction du débit

2.3.2.1 Moteurs électriques

Déterminer la carcasse suivant l'utilisation, l'emplacement, la protection désirée en accord avec les recommandations CEI.

Choisir la disposition (verticale ou horizontale) et la puissance normalisée immédiatement supérieure à celle calculée.

La vitesse sera soit celle de la pompe, soit celle choisie pour la transmission.

Pour les moteurs à vitesse variable, comparer les couples et puissances aux différentes vitesses.

Toute reproduction sans autorisation du Centre français d'exploitation du droit de copie est strictement interdite.
© Techniques de l'Ingénieur, traité Génie mécanique

2.3.2.2 Moteurs thermiques

Le choix du carburant est un cas d'espèce, l'essence étant utilisée plutôt pour les faibles puissances (< 10 kW) et le gazole plutôt pour les puissances supérieures à 10 kW.

On choisira la vitesse pour faire tourner les pompes le plus vite possible. Au démarrage, le couple est insuffisant et il faut un embrayage ou un coupleur entre pompe et moteur.

Ne pas oublier qu'à poste fixe un moteur est détaré par rapport à un service de véhicule.

Les vibrations peuvent être importantes il faut confier au motoriste la responsabilité du socle et de l'accouplement ou de la transmission. Ce socle devra permettre un entretien aisé du moteur et de la pompe.

Prévoir les accessoires : radiateur, ventilateur, démarreur, réservoirs journalier et de stockage, pompe de transfert de carburant, etc.

2.3.2.3 Turbine à gaz ou à vapeur

Là encore, choisir les vitesses les plus élevées possible pour la pompe en recherchant l'entraînement direct. Au démarrage, les turbines ont un couple suffisant pour entraîner une pompe centrifuge. En revanche, elles sont mal adaptées à l'entraînement des pompes volumétriques, en particulier alternatives.

Préciser les caractéristiques de la vapeur disponible, le type de régulateur de vitesse, qui peut être asservi à une autre grandeur, les vannes de surcharge si nécessaire. Prévoir l'isolation de la turbine et des tuyauteries.

2.3.2.4 Énergie solaire

L'énergie est fournie par un générateur photovoltaïque alimentant un moteur à courant continu à vitesse variable accouplé à une pompe centrifuge (figure **10**). Ces groupes peuvent être fixes ou mobiles (puissance de 250 W).

Le groupe démarre lentement au lever du soleil, accélère jusqu'à la mi-journée, ralentit puis s'arrête. La marche est de 8 à 10 h/j. Un coffret électrique avec interrupteur manuel et un dispositif d'arrêt automatique lorsque le réservoir est plein sont placés sur la liaison générateur-moteur.

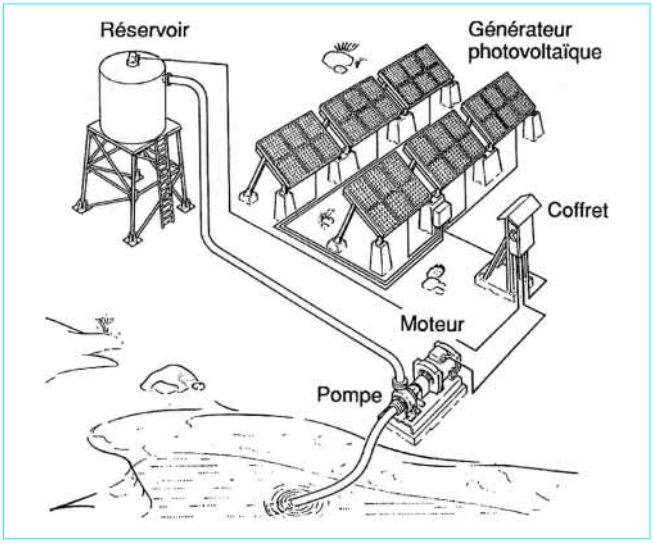


Figure 10 – Ensemble de pompage photovoltaïque de surface
(d'après doc. ALTA-Guinard)

L'entretien demande un dépoussiérage régulier des cellules qui perdent leur puissance au fur et à mesure qu'elles se recouvrent de poussière.

2.3.3 Tuyauteries

Pour les pompes alternatives, ne pas oublier que les accélérations et ralentissements du liquide majorent les pertes de charge (à voir avec le constructeur suivant la vitesse, le nombre de pistons et d'effets).

Si on installe un by-pass de la pompe au refoulement, ramener le liquide non pas à l'entrée de la pompe mais dans la fosse d'aspiration.

Prévoir des supports réglables permettant d'ajuster la position de la tuyauterie et d'éviter les efforts sur les brides. Ces supports doivent être à ressort si le liquide véhiculé est chaud (> 80 °C). On peut aussi prévoir des lyres de dilatation. Pour le choix des brides pour hautes températures (jusqu'à 400 °C), on peut se référer aux normes américaines ASA B 16e qui sont particulièrement précises car elles fixent la pression maximale en fonction de la température. Ne jamais raccorder une bride en acier à surélévation sur une bride plate en fonte afin d'éviter une rupture.

Pour des produits corrosifs, dans les petits diamètres (< 60 mm) et pour des pressions inférieures à 10 bar, on utilise des **tubes en polychlorure de vinyle** (PVC) avec raccords si la température le permet (< 60 °C) ; il existe une qualité « alimentaire ». Faire attention à ce que la pression nominale (PN) est parfois, suivant le service et le type de raccords utilisés, très supérieure à la pression maximale en service (PMS) (par exemple, PN = 16 bar, PMS = 10 bar) et doit être corrigée en fonction de la température. Ne pas oublier que la dilatation du PVC est importante et demande l'emploi de manchons de dilatation. De plus, il est sensible aux ultraviolets et demande une protection vis-à-vis du soleil.

Les **tuyauteries en polyéthylène** haute densité (ou basse pression) sont semi-rigides, stables à la lumière et au vieillissement, offrent une bonne résistance chimique et sont très utilisées en réseau d'eau potable. Elles existent en 20 à 100 mm de diamètre pour une température maximale de 45 °C (pression maximale à corriger suivant la température). En raison de la dilatation, poser ces tuyauteries à une température proche de celle de service.

Au-delà de ces limites, on dispose de tuyauteries à brides en acier ébonité, en acier inoxydable ou en polyester armé de fibres de verre.

2.3.4 Robinetterie et accessoires

En application spéciale, il faut mentionner :

— les *vannes en plastique*, avec obturateur en caoutchouc, type Saunders, convenant bien aux liquides corrosifs, soit à commande manuelle, soit à commande par eau sous pression ou air comprimé ;

— les *vannes en fonte ébonitée*, semblables aux précédentes, mais pour des diamètres supérieurs à 100 mm ;

— les *vannes à manchon élastique*, adaptées au pompage de produits pâteux, solides en suspension, etc. ;

— les *crépines « en ligne » ou « en Y »*, s'insérant entre deux éléments de tuyauterie, et facilement nettoyables. Elles peuvent protéger contre les éléments en provenance de la tuyauterie (rouille, calamine, etc.), en particulier pour les pompes volumétriques où les jeux entre parties fixes et mobiles sont pratiquement nuls. Ces crépines doivent avoir une section égale à quatre fois celle de la tuyauterie et, si la viscosité est supérieure à 30 E, il faut choisir une ou deux tailles au-dessus.

Toute reproduction sans autorisation du Centre français d'exploitation du droit de copie est strictement interdite.
© Techniques de l'Ingénieur, traité Génie mécanique

3. Applications particulières

3.1 Distribution d'eau froide et propre

Nota : le lecteur pourra se reporter utilement à l'article *Alimentation en eau potable. Besoins et ressources* [C 4 190] du traité Construction.

C'est une application généralement simple, avec des pressions modérées permettant l'emploi de pompes à un étage jusqu'à 100 ou 150 m de hauteur totale. Les débits s'étagent de quelques m^3/h à plusieurs milliers et, dans ce dernier cas, les diamètres de tuyauterie imposent des vannes motorisées.

Prendre soin de déterminer les variations de débit pour choisir correctement le nombre de pompes et le débit de chaque pompe. En eau potable, consulter la norme NF P 41-201 Code des conditions minimales d'exécution des travaux de plomberie et installations sanitaires urbaines (mai 1942).

Les **pompes centrifuges** à vitesse constante conviennent (figure **11**) mais, pour les puissances élevées (> 150 kW), une régulation à vitesse variable peut être économique. Les matériaux pour les roues sont la fonte, le bronze, l'acier inoxydable ou le plastique.

La régulation consiste à maintenir une pression constante dans un réseau ou un niveau constant dans un réservoir. Dans le premier cas, on peut utiliser une pompe « jockey » placée en parallèle avec la pompe principale et qui, en assurant un faible débit aux heures creuses, maintient la pression dans le réseau. Une demande importante, en faisant chuter la pression, déclenche la mise en route de la pompe principale.

Sur les réseaux d'eaux industrielles, il faut protéger les pompes par des crépines sur l'aspiration (ce qui est inutile en eau potable).

Pour l'eau potable, ne pas utiliser de graissage pour la ligne d'arbre des pompes verticales type forage car l'huile, même en très faible quantité, se retrouve en surface des réservoirs.

Pour les très faibles débits (1 ou 2 m^3/h), on peut employer des pompes alternatives ou des pompes à canal latéral (figure **6**) donnant des pressions de 10 ou 20 bar.

Pour des installations individuelles ou de petites collectivités (< 35 m^3/h), il existe des groupes « hydrophores » complets à une ou plusieurs pompes. Pour les installations dans un immeuble, utiliser des groupes à vitesse modérée, des clapets de non-retour silencieux et mettre des manchettes antivibratiles sur le réseau.

3.2 Service incendie

Un tel réseau doit pouvoir fournir un débit d'eau sous pression soit dans l'attente des pompiers, soit pour un service prolongé.

Il faut donc :

a) disposer à coup sûr du débit nécessaire soit par un réseau, soit par une réserve exclusive, de préférence en charge sur les pompes ;

b) que les pompes puissent fonctionner pendant l'incendie, donc aient une alimentation en puissance indépendante des lieux à protéger et puissent démarrer sans attendre (par exemple, moteur thermique maintenu chaud) ;

c) que l'installation comporte au moins un groupe en secours ;

d) que l'amorçage soit rapide, c'est-à-dire soit que la pompe est en charge, soit (groupes mobiles) qu'elle est équipée d'un système d'amorçage simple et rapide : réservoir sous vide, réserve d'eau dans le corps de pompe, système à dépression actionné par les gaz d'échappement du moteur thermique ; ces deux derniers cas sont les moins rapides.

Ces groupes doivent être en accord avec les règles de l'APSAIRD (Assemblée Pleinière des Sociétés d'Assurances contre l'Incendie et les Risques Divers). Ces règles fixent les débits, le nombre et la dimension des robinets, la pression minimale (en général entre 7 et 15 bar).

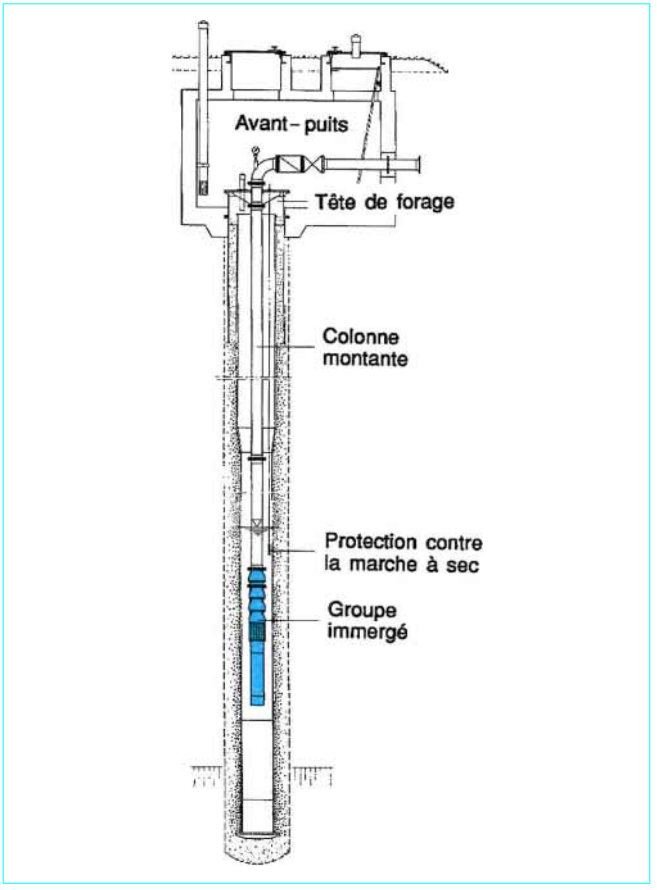


Figure 11 – Schéma type d'une installation verticale dans un puits profond (d'après doc. Guinard – Groupe KSB)

Il existe des groupes monoblocs constitués par plusieurs pompes, avec les collecteurs, clapets, vannes, armoire électrique, pressostat de sécurité (manque d'eau) et de commande et réservoir tampon. Les débits varient de 16 à 120 m^3/h.

La courbe caractéristique débit/hauteur manométrique doit être plate pour éviter les chutes de pression lorsqu'on branche plusieurs lances en parallèle.

3.3 Alimentation de chaudière

Cette application comporte des solutions très différentes selon l'importance de la chaudière et nous nous limitons essentiellement aux petites et moyennes puissances.

L'eau parvient à la pompe en provenance d'un dégazeur ou d'un réchauffeur. Il est capital que le NPSH disponible soit suffisant, ce qui peut impliquer l'emploi d'une pompe nourricière en amont.

Il faut, de plus, éviter les variations de pression à l'aspiration, résultant de brusques variations de charge ; cela peut amener à mettre une tuyauterie d'aspiration courte et de faible diamètre pour que le passage de l'eau du dégazeur à la pompe se fasse aussi vite que possible évitant ainsi, en cas d'arrivée brusque d'eau froide au dégazeur, d'avoir dans ce dernier une pression de vapeur plus basse que celle existant à l'entrée de la pompe avec pour résultat une vaporisation brutale à l'aspiration.

Toute reproduction sans autorisation du Centre français d'exploitation du droit de copie est strictement interdite.
© Techniques de l'Ingénieur, traité Génie mécanique

Prévoir une disposition verticale, vers le haut, de la tuyauterie d'aspiration pour purger les vapeurs.

Prévoir aussi un by-pass d'environ 10 % du débit entre le refoulement de la pompe et le réchauffeur pour assurer un débit minimal à la mise en route et pendant les périodes de faible consommation de vapeur afin d'éviter le fonctionnement à vanne fermée.

Les matériaux doivent être choisis en fonction de l'ensemble de l'installation, de la pression et de la température de l'eau, ainsi que de la nature de l'eau (adoucie, déminéralisée ou conditionnée). Généralement, jusqu'à 10 bar et 150 °C, une construction en fonte et bronze est acceptable. Au-delà, prévoir des aciers à 13 % de chrome ou même de l'acier 18/10. À partir de 100 °C, les presse-étoupe sont arrosés à l'eau froide et au-delà de 150 °C, les boîtes à étoupe sont refroidies.

Enfin, les tuyauteries doivent être soigneusement tracées et supportées pour éviter tout effort sur les brides et sur l'alignement qui doit être établi à chaud. À partir de 130-150 °C, la pompe doit être supportée au niveau de l'axe, avec une libre dilatation du rotor.

Les **pompes** utilisées sont le plus souvent **du type centrifuge à plusieurs étages** avec une courbe caractéristique tombante, **ou du type alternatif à 3 plongeurs** pour des débits modérés (< 70 m^3/h) et des pressions élevées (90 bar).

Une solution intéressante pour les faibles débits consiste à utiliser des **pompes à accélération périphérique** (*regenerative pumps*) ressemblant aux pompes à canal latéral, auto-amorçantes qui donnent des grandes hauteurs (150 m) pour de faibles débits (300 L/h) avec une seule roue et une courbe très tombante. Ces pompes sont peu connues et insuffisamment utilisées. Les pompes à canal latéral conviennent également.

Enfin, signalons une solution presque disparue, la pompe à action directe de vapeur, bien adaptée aux débits de 10 à 30 m^3/h et aux pressions de 15 à 20 bar.

Dans tous les cas, le débit total doit être égal à celui de vaporisation majoré de 10 à 20 % par sécurité. La hauteur de refoulement est égale au timbre de la chaudière majoré de 10 % plus les pertes de charge. Convertir les vaporisations (t/h) en débits (m^3/h) et les pressions (bar) en hauteurs manométriques (m) en tenant compte de la densité qui est inférieure à 1 (tableau **3**).

Tableau 3 – Densité, pression de vapeur et viscosité cinématique de l'eau à différentes températures

Température (°C)	Densité par rapport à l'eau froide	Pression de vapeur absolue (bar)	Viscosité (cSt)
4	1	0,008	1,5
15	0,999	0,017	1,3
60	0,983	0,198	0,45
70	0,978	0,311	0,40
80	0,972	0,473	0,35
90	0,965	0,701	0,30
100	0,959	1,014	0,27
110	0,951	1,43	0,25
120	0,943	1,99	0,22
130	0,935	2,71	0,205
140	0,925	3,63	0,195
150	0,917	4,78	0,19
170	0,898	7,95	0,17
200	0,863	15,59	0,14
250	0,794	39,24	0,11
280	0,742	66,4	0,095

Par sécurité, prévoir une pompe de secours identique à celles assurant le service.

Pour les puissances modérées (< 100 kW), la pompe est généralement entraînée directement à 3 000 tr/min et le réglage du débit se fait par laminage par une vanne de régulation. Pour des puissances plus élevées (100-150 kW), on peut utiliser une turbine à vapeur ou un moteur à vitesse variable évitant les pertes par laminage dans la vanne. De plus, la turbine est une solution intéressante en secours.

Insistons sur l'importance de la qualité du clapet de non-retour placé au refoulement car une fuite à travers ce clapet entraîne un dévirage et par suite une détérioration de la pompe.

3.4 Circulateurs d'eau chaude

Cela concerne aussi bien les circulateurs de chauffage que les pompes de circulation d'eau chaude sanitaire. Le but est d'accélérer la circulation pour maintenir une température égale dans l'ensemble du circuit, et de réduire les sections de tuyauteries.

Ce sont des **pompes centrifuges monoblocs**, sans presse-étoupe, le rotor du moteur étant noyé dans le liquide pompé et le stator isolé par une chemise fixe et amagnétique, du moins pour les petites puissances ($\leq$ 20 kW).

Le débit d'une pompe de circulation d'eau chaude est destiné à compenser les pertes de chaleur de la tuyauterie « aller » qui sont de l'ordre de 60 kJ/h (15 kcal/h) pour un diamètre 15 × 21 et de 300 kJ/h (70 kcal/h) pour du 100 mm/m de tuyauterie calorifugée.

Ces pompes travaillent sous une hauteur géométrique nulle car elles sont en circuit fermé ; seules comptent les pertes de charge.

La pompe doit comporter un secours (il existe des pompes doubles) ou au moins un by-pass pour maintenir une circulation en cas de panne. Pour l'eau chaude, elle sera de préférence installée sur le circuit de retour pour assurer une meilleure répartition aux points de puisage.

Les coffrets électriques permettent une marche « jour » et une marche « nuit » en jouant sur la vitesse, ou bien une régulation en fonction de la température ; sur les groupes doubles, on peut permuter les pompes pour un secours ou pour des services différents, etc.

Pour des débits de 60 m^3/h et plus, on utilise des groupes classiques mais avec des pompes conçues pour des températures de 130 à 140 °C ou des pompes « type process » (§ 3.18) et qui sont utilisées avec des fluides caloporteurs ou de l'eau chaude sous pression.

La combinaison « température élevée-grande vitesse » favorise les vaporisations locales et l'entartrage des tuyauteries. Il faut donc prévoir un traitement de l'eau et limiter la température à environ 70 °C. Ce traitement est de nature à influer sur le choix des matériaux. Il doit être conforme aux règlements, qui varient avec les pays.

Une raison supplémentaire pour limiter la vitesse est la réduction des pertes de charge, donc de la puissance, donc du bruit. Le matériel de pompage et le circuit doivent être d'exécution soignée et une vitesse de 2 m/s pour éviter le bruit semble raisonnable.

Le terme « pompe à chaleur » désigne non pas une pompe mais un ensemble semblable à un circuit frigorifique (on prend de la chaleur à un milieu et on la transfère à un autre). Les pompes utilisées dans ces ensembles sont des pompes centrifuges sans particularité, véhiculant des débits élevés sous des hauteurs faibles, généralement à 1 500 tr/min. Comme ci-dessus, éviter le bruit et sa transmission dans les bâtiments.

Toute reproduction sans autorisation du Centre français d'exploitation du droit de copie est strictement interdite.
© Techniques de l'Ingénieur, traité Génie mécanique

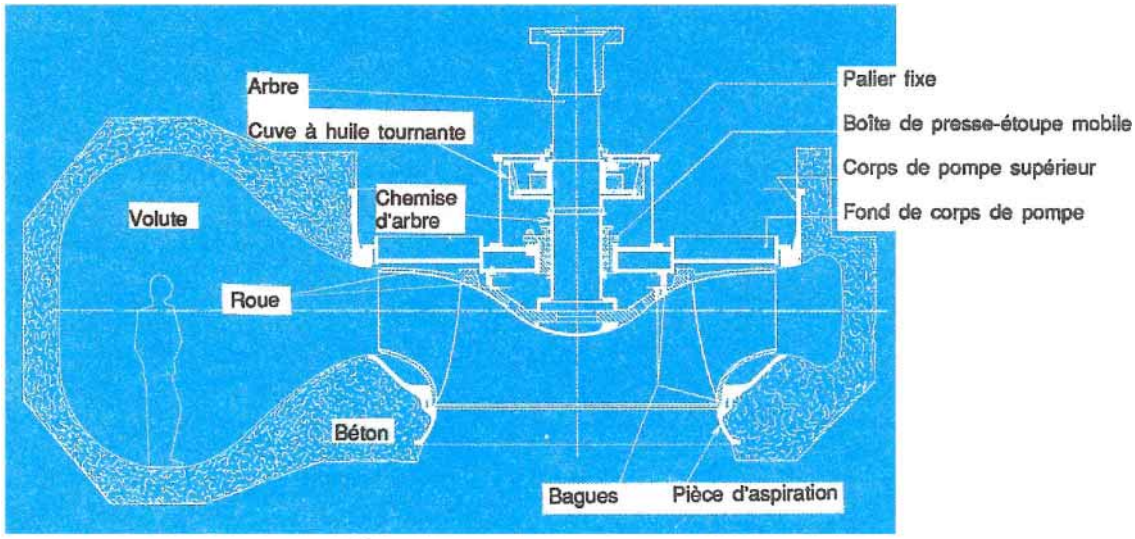
3.5 Circuits de refroidissement

Cette application met en jeu des hauteurs modérées, une température inférieure à 100 °C, et une plage de débits très grande, mais l'eau est parfois remplacée par de l'eau de mer de nature corrosive.

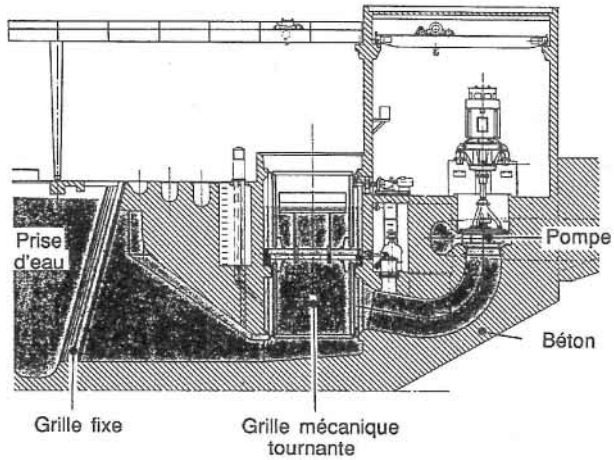
Il faut une grande sécurité de fonctionnement car un arrêt de ce circuit entraîne celui de toute une installation.

Les débits et les hauteurs conduisent à l'emploi de pompes hélico-centrifuges à vitesse d'autant plus basse que le débit est plus élevé. Elles sont mieux adaptées que les pompes hélice du point de vue aspiration et rendement ; toutefois, ces dernières peuvent être la seule solution pour les débits les plus grands.

La disposition verticale est souvent adoptée, surtout pour les pompes de grande dimension car elle facilite les raccordements de tuyauterie et donne une sécurité pour le moteur. De plus, elle est la seule possible lorsque la **solution d'une volute en béton** coulée dans le sol est utilisée (figure 12***a***). Cette technique est appliquée pour les très grands débits (> 20 000 m^3/h par pompe), évitant le transport et l'assemblage sur site d'éléments lourds et encombrants. Elle est adaptée au pompage d'eau de mer et permet un raccordement facile à la fosse de dégrillage, d'où une réduction de génie civil (figure 12***b***). C'est également une solution employée pour les formes de radoub ou de construction navale où les débits et hauteurs sont semblables à ceux du refroidissement des centrales électriques.



ⓐ coupe d'une pompe avec volute en béton



ⓑ implantation de la pompe

Figure 12 – Pompe de circulation de condenseur (d'après doc. Bergeron)

Toute reproduction sans autorisation du Centre français d'exploitation du droit de copie est strictement interdite.
© Techniques de l'Ingénieur, traité Génie mécanique

La prise d'eau, surtout lorsqu'elle est en rivière ou en mer, doit comporter un dégrillage en harmonie avec le circuit de refroidissement (chemises de moteur, tubes d'échangeur, etc.) car les sections de passage de la pompe ne constituent pas le goulot d'étranglement. Dans le cas d'un circuit fermé, avec réfrigérant, il faut prévoir un pompage d'appoint avec prise d'eau et dégrillage, alimentant le circuit de refroidissement équipé d'une pompe de circulation ; cela réduit la dimension de la prise d'eau.

En cas de régime variable, prévoir une régulation de débit par vannage ou marche-arrêt des pompes, commandée par un thermostat.

Pour le refroidissement des moteurs thermiques où les débits sont faibles (de 0,04 à 0,12 m^3/h par kilowatt), l'emploi de pompes classiques, horizontales ou verticales, ne pose pas de problème sauf peut-être celui de la circulation d'eau à 80-90 °C qui risque de provoquer des vaporisations si la pression n'est pas maintenue à une valeur suffisante. La température est aussi une cause d'entartrage surtout avec un pH et une concentration élevés. Prévoir un traitement de l'eau, ce qui peut influer sur le choix des matériaux.

L'entraînement de la pompe par le moteur à refroidir n'est valable que si ce dernier est à vitesse constante.

Enfin, s'assurer que la hauteur vanne fermée n'est pas excessive pour les éléments du circuit.

3.6 Pompes pour piscines

Nota : le lecteur pourra se reporter utilement à l'article *Piscines publiques. Programmation* [C 4 255] dans le traité Construction.

Distinguons les pompes pour piscines publiques, soumises à certains règlements, et celles pour piscines privées. Dans les deux cas, la pompe est une **pompe centrifuge** et travaille uniquement en pertes de charge puisqu'elle aspire et refoule dans le même bassin. L'eau est refoulée à travers un filtre qui s'encrasse ; le débit varie donc depuis un maximum (filtre propre) jusqu'à un minimum (filtre encrassé). Il importe que la hauteur totale « filtre encrassé » soit inférieure à la hauteur vanne fermée. En outre, la pompe est utilisée pour laver le filtre à contre-courant avec rejet à l'égout ; ce lavage est fait à un débit proche de celui de la filtration. Pour éviter une forte variation de débit entre ces différentes utilisations, il faut une pompe à caractéristique très tombante. L'encrassement du filtre représente une hauteur de 4 m environ et la hauteur totale varie entre 7 et 11 m environ.

Pour une piscine publique, prévoir environ 0,5 m^3/h par m^2 de plan d'eau (voir règlements), le volume total du bassin devant être recyclé en moins de 4 h.

Pour une piscine privée, moins fréquentée, en climat tempéré, on peut recycler le volume total en 8 à 10 h, le débit étant fixé par le traiteur d'eau.

Les pompes doivent être de préférence **auto-amorçantes et être précédées d'un filtre à cheveux** retenant les petites impuretés (figure 13). il existe des pompes horizontales conçues pour ce service et où le filtre à cheveux (ou préfiltre) est incorporé. Elles sont actuellement construites en plastique et ne doivent pas fonctionner vanne fermée ; elles résistent bien à l'ambiance chaude, humide et chlorée des piscines.

Le matériel électrique doit être d'exécution soignée tant en raison de l'atmosphère humide et chlorée que du risque d'électrocution.

La tuyauterie d'aspiration doit permettre de prendre l'eau en partie en surface, d'où un risque d'entrée d'air, et en partie au fond du bassin, avec des vannes de réglage.

Enfin, le nettoyage se fait avec un balai de piscine (aspirateur) branché sur l'aspiration de la pompe (prévoir des prises pour ce balai) ce qui implique de bonnes qualités d'aspiration pour la pompe. Pour les piscines publiques, il faut prévoir une pompe affectée à ce service, d'un débit de 10 à 15 m^3/h.

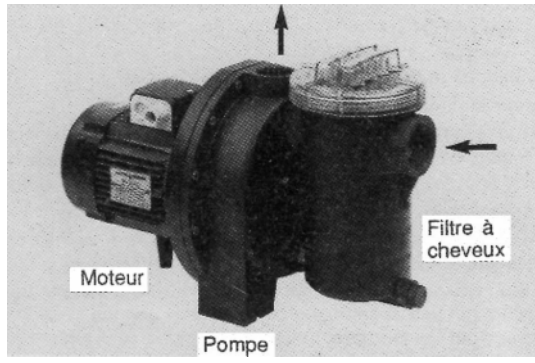


Figure 13 – Pompe pour piscines (d'après doc. Guinard – Groupe KSB)

3.7 Extraction de condensats

Nota : le lecteur pourra se reporter utilement à l'article *Condenseurs par surface dans les centrales thermiques* [B 5 140] dans le traité Génie énergétique.

Ce service est caractérisé par le pompage d'un liquide presque en équilibre avec sa vapeur et par une charge géométrique à l'aspiration très réduite du fait des emplacements.

C'est une application exclusive des **pompes centrifuges**, mais aussi la plus difficile. L'étude doit être faite avec le plus grand soin pour éviter la cavitation. En particulier, le tracé de la tuyauterie d'aspiration doit permettre une évacuation facile des formations de vapeur ou un entraînement d'air et assurer un NPSH disponible de 0,5 m au minimum.

La disposition la meilleure pour la **pompe d'extraction** est **verticale en cuvelage** (figure 14) permettant de placer l'ouïe de la roue de premier étage le plus bas possible et de mettre plusieurs roues en série sans augmenter l'encombrement. Cette disposition multi-étagée est nécessaire en raison de l'augmentation des pressions dans le dégazeur et des températures plus élevées à l'entrée des pompes alimentaires. L'augmentation des vitesses des pompes alimentaires demande aussi une pression plus grande à leur entrée.

À l'inverse, la pompe d'extraction reste une pompe à vitesse modérée (1 500 tr/min) mais avec une roue de premier étage spécialement étudiée pour ce service et en particulier dans le cas d'une pompe horizontale équipée d'une hélice de gavage.

Enfin, bien noter qu'un fonctionnement en cavitation provoque, outre une usure et une fatigue mécanique, une chute de la courbe caractéristique, donc du débit (figure 15).

3.8 Adaptation de pompes pour l'énergie nucléaire

Nota : le lecteur pourra se reporter utilement aux articles *Installations conventionnelles d'une centrale nucléaire à eau pressurisée* [B 3 310] [B 3 312] [B 3 314] dans le traité Génie nucléaire.

Il n'est pas question de traiter ici des pompes d'un modèle standard utilisable dans les centrales nucléaires, mais uniquement des éléments particuliers qui ont été mis au point pour répondre aux exigences propres du nucléaire.

En dehors des exigences métallurgiques propres à cette application (emploi d'aciers inoxydables, polissage des surfaces, etc.), le problème principal est l'élimination des fuites ou des communications avec l'extérieur.

Toute reproduction sans autorisation du Centre français d'exploitation du droit de copie est strictement interdite.
© Techniques de l'Ingénieur, traité Génie mécanique

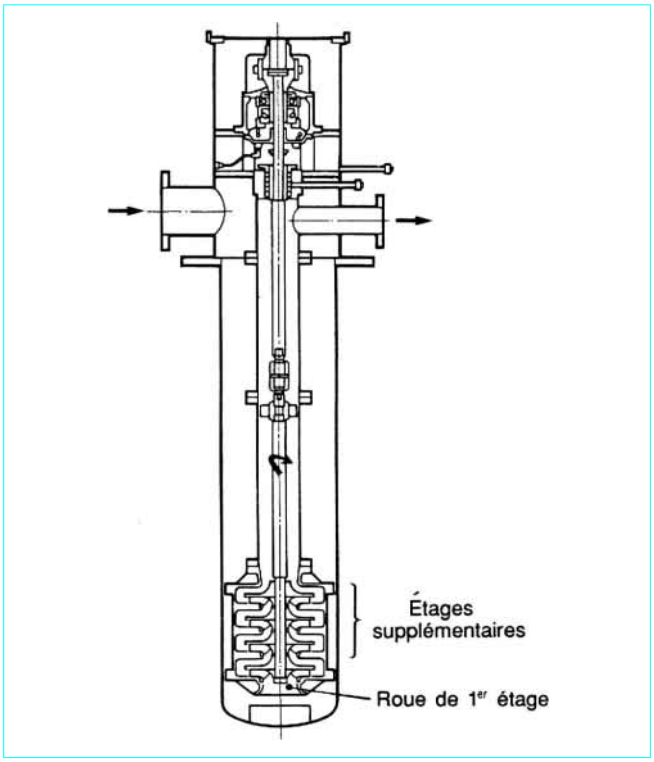


Figure 14 – Pompe d'extraction verticale en cuvelage
(d'après doc. Bergeron Rateau)

Dans ce but, les solutions suivantes sont utilisées :

— des butées hydrostatiques fonctionnant avec le liquide pompé et des paliers en graphite pour éviter une lubrification venant de l'extérieur ;

— une barrière thermique conçue pour supporter les chocs thermiques et résister à 300 °C (figure **16**) ;

— une garniture mécanique de boîte à étoupe en deux étages : un étage hydrostatique résistant aux pressions instantanées doublé d'une garniture mécanique supportant la pression totale du système ;

— dans les applications où la réduction de l'encombrement est capitale (marine) ou bien où l'entretien de la garniture n'est pas réalisable, on utilise des pompes sans garnitures de presse-étoupe ; le moteur et la pompe forment un ensemble fermé où le stator du moteur est protégé par un boîtier en acier amagnétique et inoxydable (*Hastelloy*, par exemple). Cette solution est employée lorsqu'on ne peut accepter aucune défaillance de la garniture mécanique.

3.9 Applications à haute pression

Il s'agit d'applications où l'énergie cinétique de l'eau est utilisée comme moyen de nettoyage ou, plus généralement, d'enlèvement de matière. Nous n'aborderons pas ici les pompes alimentaires de chaudière (§ 3.3), ni les pompes d'exhaure (§ 3.10), ni les compresseurs hydrauliques qui font partie de centrales haute pression (cf. rubrique Hydraulique (ou à fluide incompressible) dans ce traité).

Citons les applications suivantes :

— dessablage en fonderie (70 bar) ;

— nettoyage de tubes d'échangeur (350 bar) ;

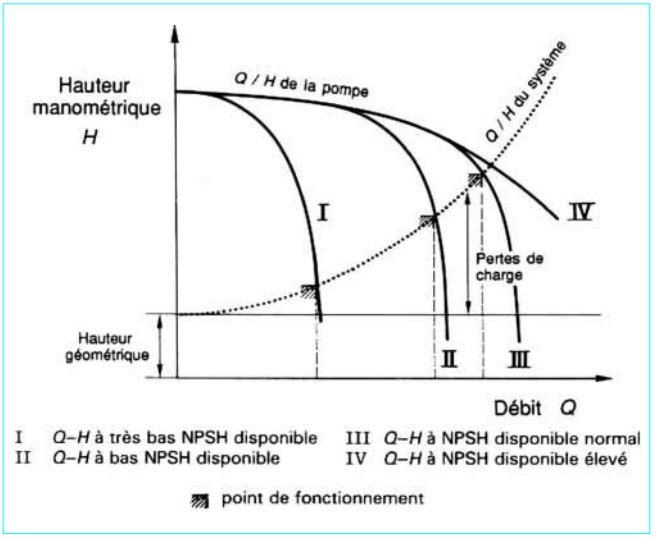


Figure 15 – Courbes de fonctionnement et points de fonctionnement d'une pompe d'extraction de condenseur avec différents NPSH

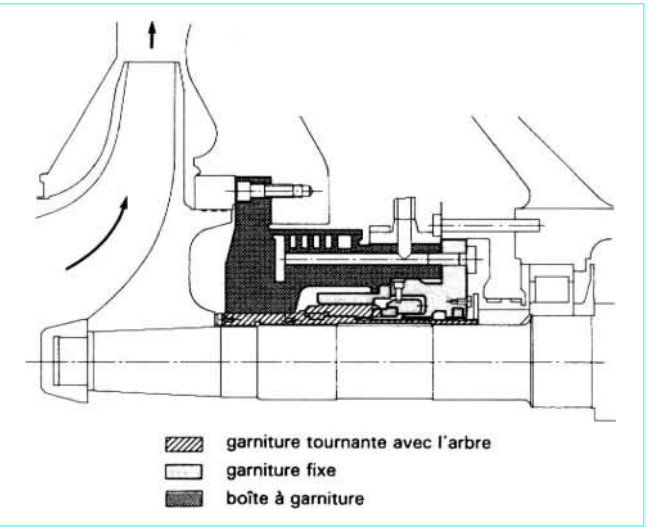


Figure 16 – Adaptations pour l'énergie nucléaire : garniture mécanique simple avec écran thermique et circuit d'extraction de la chaleur (d'après doc. Alsthom Rateau)

— fonçage de tuyauteries à travers des remblais (environ 100/150 bar) ;

— décalaminage de tôles ou de billettes (90 bar) ;

— écorçage de grumes (70 bar) ;

— lavage à haute pression de bacs, citernes, véhicules, engins de travaux (jusqu'à 700 bar) ;

— nettoyage de réseaux d'égout ou de canalisations (40 bar) ;

— forages (de 25 à 100 bar) ;

— à titre expérimental, découpe de l'acier (5 mm) par jet d'eau et microbilles (5 000 bar).

Dans tous ces cas, le liquide véhiculé est propre, sauf en forage où il est constitué par une suspension de matériaux solides et calibrés. Les pompes, surtout les pompes volumétriques, doivent néanmoins être protégées à l'aspiration par une crépine à petites mailles.

Toute reproduction sans autorisation du Centre français d'exploitation du droit de copie est strictement interdite.
© Techniques de l'Ingénieur, traité Génie mécanique

Le jet de liquide à haute pression est produit par une buse et le débit de la pompe est fonction de la pression, de la section de la buse et du nombre de buses utilisées pour couvrir la surface à arroser.

Les pompes utilisées se partagent entre :

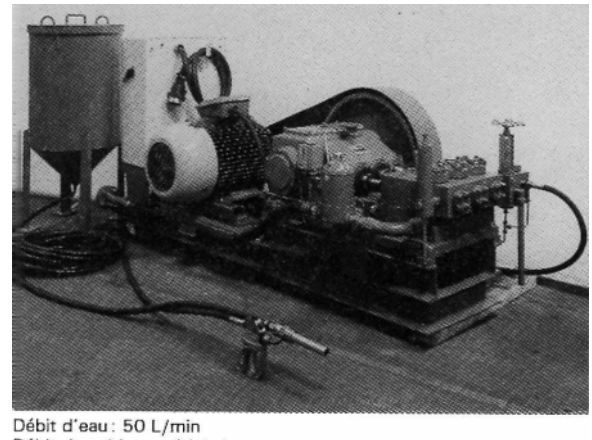
— les **pompes alternatives à plongeurs** (figure 17***a***) en raison de la pression ; la plus courante est celle à trois plongeurs, à simple effet, rapide (de 100 à 600 tr/min) ce qui peut exiger une alimentation sous pression à l'aspiration, la pompe nourricière étant alors une pompe centrifuge. De toutes façons, avec une pompe alternative rapide, la vitesse sinusoïdale des plongeurs provoque dans la tuyauterie d'aspiration une succession d'accélérations et de ralentissements qui entraînent une perte de charge supplémentaire que l'on réduit en augmentant le diamètre de la tuyauterie pour ne pas dépasser 1 m/s. Un amortisseur de pulsations est recommandé à l'aspiration. L'installation de ces pompes doit être complétée par une soupape de sûreté et parfois un amortisseur au refoulement.

Pour de fortes puissances, le démarrage doit se faire sans pression au refoulement. Cela s'obtient par une vanne de décharge (figure 17***b***) ou par blocage mécanique des clapets d'aspiration. Ce dernier système, incorporé à la pompe, évite les chocs hydrauliques de la vanne de décharge. La mise en pression se fait une fois que le moteur a atteint sa vitesse de régime ;

— les **pompes centrifuges multi-étagées** pouvant donner des pressions de l'ordre de 70 à 100 bar. Ce type de pompe ne demande ni amortisseur, ni soupape de sûreté et ne provoque pas de pulsations. Son démarrage est facile à condition de prévoir une vanne de refoulement avec by-pass permettant de maintenir la tuyauterie de refoulement pleine, évitant ainsi un coup de bélier à l'ouverture comme à la fermeture de la vanne de refoulement.

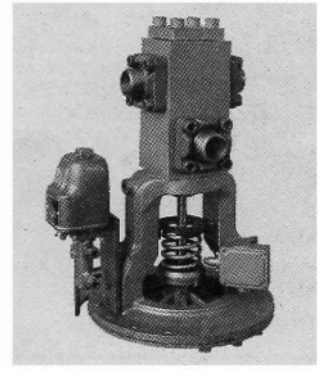
Les pompes centrifuges sont adaptées aux débits importants (> 30 m^3/h) et les pompes alternatives ou volumétriques aux pressions élevées.

Les accessoires nécessaires à ces applications (buses, flexibles, pistolets, etc.) sont généralement fournis par le constructeur de pompes.



Débit d'eau : 50 L/min
Débit de sable : ≈ 4 L/min
Pression de refoulement : 350 bar
Aspiration du sable dans une trémie spéciale par dépression au niveau du pistolet de projection
Utilisation: lavage et sablage d'échangeurs

ⓐ pompe alternative à 3 pistons plongeurs



ⓑ vanne de décharge à commande électropneumatique

Figure 17 – Matériels pour applications à haute pression
(d'après doc. PMH)

3.10 Transport de solides

Ces applications sont très variées, allant du dragage au transport de schlamms, de coke ou de charbon, voire de poissons ou de légumes dans les conserveries. Nous assimilerons à ces cas les pompes d'exhaure bien qu'elles aient un but différent.

Il faut distinguer les matières fragiles qui ne doivent pas être détériorées par le pompage, les matières filandreuses ou fibreuses susceptibles de s'agglomérer, et les matières abrasives.

La première caractéristique est la dimension maximale des solides à véhiculer, ce qui fixe les sections du circuit (en particulier dans les roues de la pompe). Une crépine calibrée à l'aspiration interdit le passage d'éléments trop gros. Pour cette raison, on utilise de préférence des **pompes centrifuges à vitesse lente** ce qui impose, pour une même plage débit-hauteur, des dimensions, donc des sections plus grandes.

Les roues (figure 18) peuvent être de trois types :

— ouvertes (pas de flasques) ;
— semi-ouvertes (un seul flasque) ;
— tourbillon ou vortex, placées latéralement par rapport au flux de liquide.

En général, les pompes centrifuges sont bien adaptées, les clapets des pompes alternatives étant par contre une source d'ennuis ; les jeux réduits de certaines pompes rotatives sont incompatibles avec des solides bien que ces pompes soient adaptées au pompage de produits pâteux.

Un broyage préalable peut être nécessaire. Il a l'avantage de réduire la vitesse de sédimentation dans les tuyauteries, donc de permettre une réduction de la vitesse dans ces dernières, donc des pertes de charge et de l'usure.

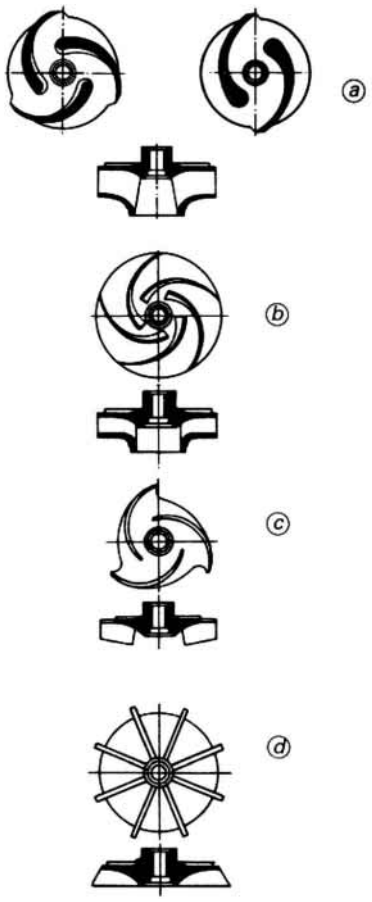
On peut aussi associer en série une pompe centrifuge et une pompe volumétrique à membrane et liquide intercalaire, ce qui permet d'atteindre des pressions très élevées (environ 200 bar). Les clapets s'usent rapidement et doivent être accessibles.

Enfin, signalons que les **pompes péristaltiques** (figure 19) sont bien adaptées au transfert de particules solides et que les **pompes du type Moineau** (figure 20) sont utilisables.

3.10.1 Matières fragiles

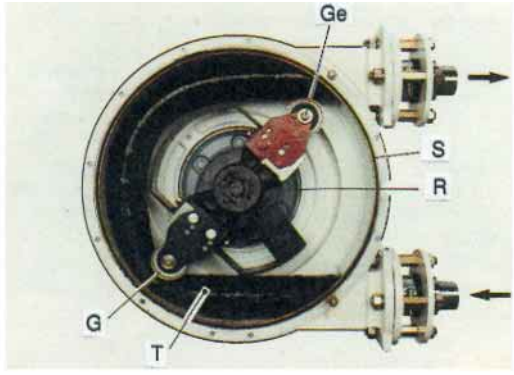
Les pompes centrifuges classiques sont souvent bien adaptées à ce service. Éviter cependant sur le circuit tout organe susceptible de donner un choc ou de provoquer un bourrage. On peut aussi utiliser des **roues tourbillon** qui évitent tout choc mécanique entre la roue et le fluide et conviennent bien au pompage de fruits, légumes ou poissons.

Toute reproduction sans autorisation du Centre français d'exploitation du droit de copie est strictement interdite.
© Techniques de l'Ingénieur, traité Génie mécanique



ⓐ **roue à canaux,** pour liquides chargés, exempts de suspensions à fibres longues susceptibles de former des tresses
ⓑ **roue fermée à plusieurs aubes,** pour liquides clairs ou légèrement chargés, par exemple jus sucrés, eaux résiduaires clarifiées ou dégrillées
ⓒ **roue semi-ouverte à plusieurs aubes,** pour les mêmes liquides que précédemment mais également pour des liquides contenant des gaz en dissolution
ⓓ **roue à passage libre (tourbillon ou vortex),** pour liquides à forte teneur en air ou en gaz ou tous autres éléments susceptibles de former des tresses

Figure 18 – Différents types de roues pour pompes centrifuges (d'après doc. KSB)



Ge galet éclipsable pour le nettoyage en ligne sans obstacle
G galet en acier inoxydable sur roulements à billes étanches
R rotor à 2 galets, en acier et fonte
S stator robuste avec ailettes de refroidissement
T tube en caoutchouc naturel armé d'un double guipage de fil d'acier

Figure 19 – Pompe péristaltique (d'après doc. Delasco)

Une autre solution est celle de la pompe dont la roue est prolongée côté aspiration par une vis d'Archimède (**pompe *Hidrostal***, figure 21).

3.10.2 Matières filandreuses

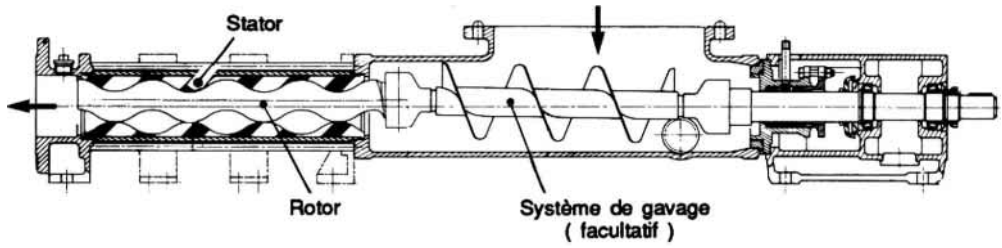
C'est un cas difficile, résolu souvent par l'emploi de **pompes dilacératrices ou sécatrices** dont la roue (figure 22) est prolongée côté aspiration par un cône à arêtes vives qui entraîne les matières devant un couteau fixe. L'emploi de roues tourbillon, semi-ouvertes ou monocanal est aussi une solution. Les roues ne comportent pas de trous d'équilibrage et, là aussi, les pompes *Hidrostal* sont une bonne solution. Les roues axiales à profil spécial peuvent aussi être utilisées pour les faibles pressions (transferts).

Les boîtes à étoupe sont arrosées à l'eau claire sous une pression supérieure de 1 bar à la pression régnant à l'intérieur du corps de pompe, mais pas par un réseau d'eau potable qui risquerait d'être contaminé.

Bien s'assurer que les conduites ne comportent pas d'aspérités, de changements de section, etc., et sont équipées de trous de poing près des points délicats (pompes en particulier). Pour les vannes, on utilise des vannes type Saunders ou des vannes à manchon commandées pneumatiquement ou hydrauliquement.

Prévoir un démontage aisé des tuyauteries et, si possible, en début et en fin de pompage, un rinçage par pompage d'eau claire.

Toute reproduction sans autorisation du Centre français d'exploitation du droit de copie est strictement interdite.
© Techniques de l'Ingénieur, traité Génie mécanique



Dispositif spécial de gavage par vis d'Archimède à l'aspiration (modèle étudié pour produits visqueux ou à très haute teneur en matières sèches).

Figure 20 – Pompe type Moineau (d'après doc. PCM Moineau)

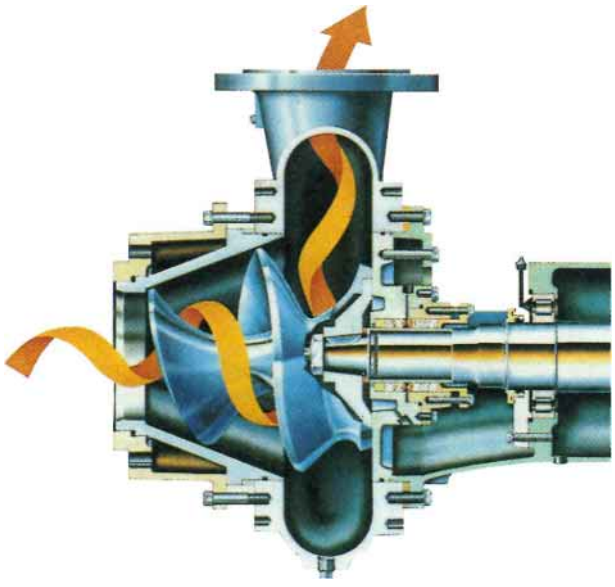


Figure 21 – Pompe *Hidrostal* (d'après doc. Wemco)

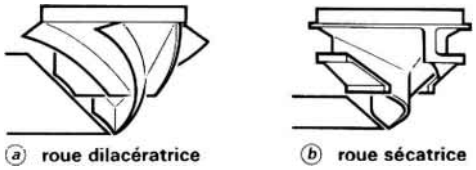


Figure 22 – Roues dilacératrice et sécatrice (d'après doc. Mengin)

Noter que des ouvertures ou fermetures de vannes en cours de marche, en changeant la vitesse du liquide, permettent de décrocher les fibres, en particulier sur les roues.

3.10.3 Matières abrasives (y compris exhaure)

Les pompes choisies sont largement dimensionnées, avec des surépaisseurs de parois permettant d'accepter l'abrasion et la corrosion (les eaux de mines sont souvent acides). Les arbres sont protégés du liquide par des chemises et le corps et la roue comportent des bagues d'usure faciles à changer avec, au besoin, un arrosage d'eau claire sous pression. Les paliers sont bien étanches et la visserie hors du contact du liquide pompé.

L'emploi de **matériaux très résistants** (fonte *Ni-Hard*) est une solution aux problèmes d'abrasion sévère ; mais ces matériaux étant **inusinables** (sauf par meulage), la conception de la pompe en est modifiée, les éléments du corps étant assemblés, par exemple, par taquets et les brides étant rapportées sur le corps (figure **23*a***).

Une autre solution plus facile à mettre en œuvre est celle des **revêtements en caoutchouc sur les pièces sensibles** (figures **23*b***).

Les pompes péristaltiques acceptent des particules dont la dimension maximale doit être inférieure au 1/3 du diamètre du tube, la concentration pouvant aller de 25 à 60 % de matières sèches en fonction de la densité qui doit rester inférieure à 2, la vitesse étant limitée à 60 tr/min soit environ 3 m^3/h au maximum.

Toutes ces solutions spéciales ne permettent pas aux constructeurs d'avoir une gamme très étendue et l'adaptation aux conditions de service se fait en jouant sur la vitesse au moyen d'une transmission par courroies, ce qui permet en outre, si nécessaire, de modifier la vitesse dans le cas où les débits et hauteurs auraient été mal calculés, à condition que la puissance du moteur le permette.

Choisir une vitesse lente pour réduire l'usure ; prévoir une bague de fond de boîte à étoupe arrosée à l'eau claire à une pression supérieure de 1 bar à la pression intérieure à la pompe. Les roues ne doivent pas avoir de trous d'équilibrage, source de dépôts derrière la roue.

Les paliers doivent permettre un réglage facile du jeu latéral pour rattraper l'usure côté aspiration.

Employer des vannes à manchon et, si on ne peut l'éviter, des clapets à boule de caoutchouc ; les tuyauteries sont revêtues intérieurement de caoutchouc.

Enfin, prévoir, si possible, une circulation d'eau claire en début et en fin de pompage.

Limiter le pourcentage de solides en suspension à 10 % en masse, et utiliser une vitesse au refoulement de 3 à 5 m/s pour éviter les sédimentations.

Placer la pompe aussi bas que possible et, de préférence, en charge à l'aspiration. La tuyauterie d'aspiration doit être courte et directe ; pour la tuyauterie de refoulement, éviter les points bas, les coudes brusques (*r* supérieur à 4 à 5 fois le diamètre de la tuyauterie).

Toute reproduction sans autorisation du Centre français d'exploitation du droit de copie est strictement interdite.
© Techniques de l'Ingénieur, traité Génie mécanique

Dans le calcul des hauteurs, bien tenir compte de la densité du mélange et, particulièrement pour les dragages, de la différence de densité des liquides dans la partie immergée de la tuyauterie d'aspiration et autour de cette tuyauterie ; en tenir compte aussi pour le calcul de la puissance.

Souvent, les emplacements de pompage doivent être modifiés ; il faut donc prévoir les hauteurs maximales et les puissances correspondantes.

Pour le calcul des pertes de charge, penser qu'un liquide très chargé se comporte comme un liquide visqueux, mais il faut mesurer sa viscosité à la vitesse de circulation. Pour des grains de dimension inférieure à 50 µm, à une concentration de 10 à 15 %, le liquide se comporte comme de l'eau ; pour une concentration plus élevée, la viscosité augmente de façon variable car elle dépend de la vitesse de cisaillement. Des essais de laboratoire sont nécessaires.

Règle générale. Ne pas oublier :
— qu'une usure anormale peut déséquilibrer un rotor ;
— qu'un solide bloqué dans une roue la déséquilibre ;
— que les roues fermées multi-aubes ont un rendement supérieur à celui des roues à canaux qui est supérieur à celui des roues tourbillon ou des roues semi-ouvertes. Attention aux estimations de puissances !

3.11 Irrigation

Nota : le lecteur pourra se reporter également à l'article *Systèmes d'irrigation* [C 5 250] dans le traité Construction.

C'est une application en eau froide, à grand débit et faible hauteur, donc une application type de **pompe hélicocentrifuge** où, de plus, les larges sections de passage ne posent pas de problèmes liés aux impuretés en suspension. Il faut mettre à la prise d'eau une crépine à larges mailles pour éliminer les plus gros morceaux.

La disposition est généralement horizontale pour les prises en rivière, le groupe étant monté sur un traîneau facile à déplacer. Lorsque la pompe est installée sur une estacade au-dessus de l'eau (figure **24**), on utilise une pompe verticale avec un moteur en surface ou une pompe à moteur submersible (< 500 kW).

Pour les forages, on est ramené au choix des pompes verticales de forage à moteur en surface ou des pompes immergées, mais ces applications demandent des moyens de levage pour l'entretien. Une solution pour des puissances de 3 kW est le montage d'une pompe verticale électrique sur un châssis adapté au montage derrière un tracteur.

Dans tous les cas, le refoulement en surface se fait souvent à l'horizontale, parfois en descente, cause de siphonnages provoquant des à-coups nuisibles à éviter par un tracé correct de la tuyauterie.

L'entraînement se fait par un moteur électrique ou thermique avec, dans ce dernier cas, un renvoi d'angle à engrenages ou par courroies dans le cas de pompes verticales. La vitesse est souvent de 1 500 tr/min en raison des faibles hauteurs.

Pour un refoulement dans un canal, la sortie de la tuyauterie se fait par un clapet d'extrémité à contre-poids se fermant en cas de hautes eaux dans le canal pour éviter un retour d'eau et le dévirage de la pompe. Ce clapet doit être ancré dans du béton.

Enfin, signalons l'existence de groupes mobiles sur remorque avec en particulier une tuyauterie d'aspiration inclinable pour plonger l'orifice et sa crépine dans un canal, une mare, etc. Un tel ensemble constitue une station de pompage complète où il n'y a plus qu'à raccorder le collecteur de refoulement et, éventuellement, le câble électrique ; cela existe pour des débits de 200 à 2 000 m^3/h sous 8 m de hauteur totale.

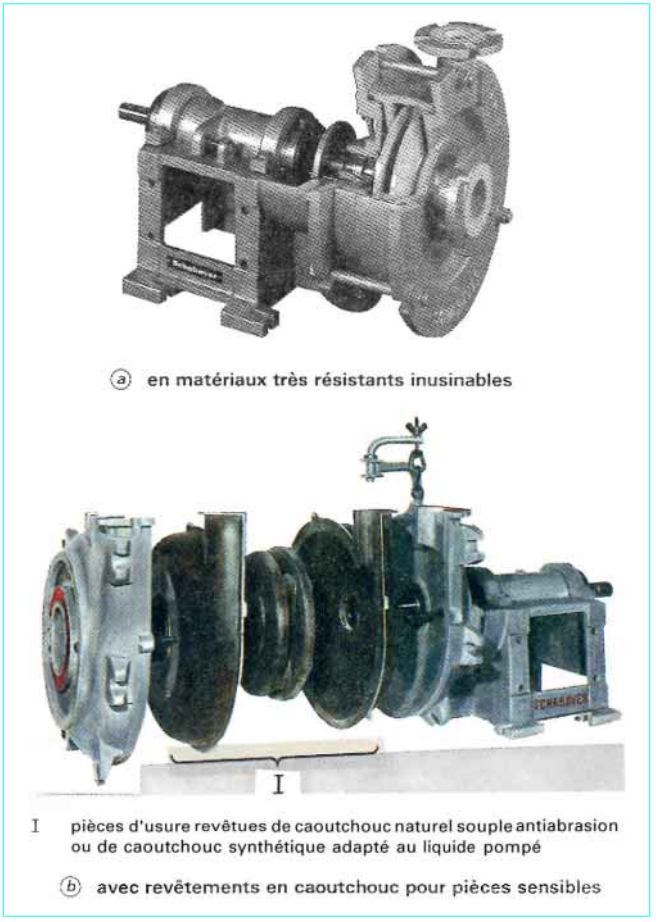

a en matériaux très résistants inusinables
I
I pièces d'usure revêtues de caoutchouc naturel souple antiabrasion ou de caoutchouc synthétique adapté au liquide pompé
b avec revêtements en caoutchouc pour pièces sensibles

Figure 23 – Pompes pour le transport de matières abrasives
(d'après doc. Schabaver)

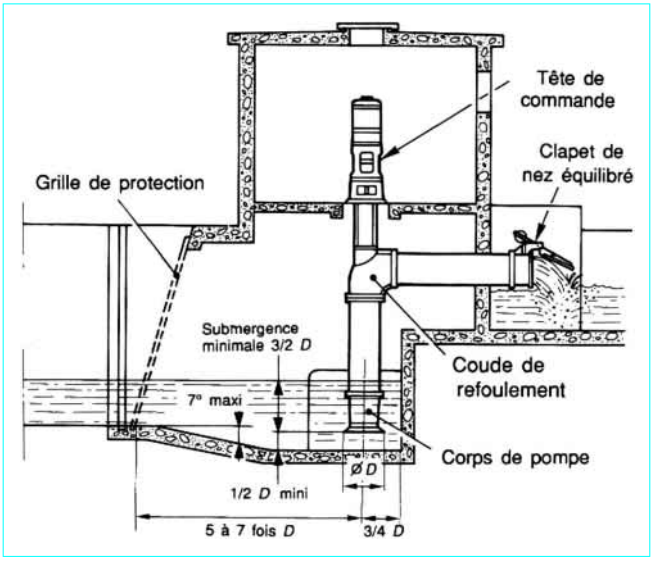


Figure 24 – Station de pompage complète pour l'irrigation

Toute reproduction sans autorisation du Centre français d'exploitation du droit de copie est strictement interdite.
© Techniques de l'Ingénieur, traité Génie mécanique

3.12 Relevage d'eau d'égout

Nota : le lecteur pourra se reporter également à l'article *Assainissement des agglomérations* [C 4 200] dans le traité Construction.

C'est une application de **pompe centrifuge ou à vis** en raison des solides en suspension. Il s'agit de relever des eaux chargées en matières de toutes sortes. Les débits vont de quelques m^3/h à des milliers de m^3/h et s'estiment sur la base de 150 L/(habitant · jour) pour moins de 10 000 habitants et 250 L/(habitant · jour) pour plus de 50 000 habitants. La pointe diurne en débit horaire est de 1/12 à 1/18 du débit journalier. Il importe de connaître les variations de débit entre temps sec et orage (la pointe pouvant atteindre de 3 à 5 fois le débit moyen journalier), ce qui implique l'usage de plusieurs pompes en parallèle ou à vitesse variable.

Plusieurs types de roues (figure 25) sont utilisées tant pour les groupes de surface que pour les groupes submersibles :

a) roue fermée à une aube (monocanal), pour des eaux résiduaires contenant des éléments solides à fibres longues et pour des débits allant jusqu'à 1 000 m^3/h ; la figure 26 montre la coupe d'une pompe avec une telle roue ;

b) roue tourbillon à passage libre, pour des liquides contenant des éléments solides plus ou moins volumineux, du gaz et de l'air et pour des débits allant jusqu'à 500 m^3/h ;

c) roue fermée à plusieurs canaux, pour des liquides chargés et contenant des éléments solides et boueux, ne dégazant pas et exempts de matières fibreuses susceptibles de former des tresses et pour des débits allant jusqu'à 8 000 m^3/h ;

d) roue semi-ouverte avec système dilacérateur (figure 22***a***), pour des liquides chargés, matières fécales, eaux usées domestiques contenant des solides et des fibres longues et, en général, pour de petits débits de l'ordre de 20 m^3/h ;

e) roue semi-ouverte, pour des liquides contaminés contenant des solides (granulométrie de 7 mm au maximum), exempts de fibres ou de matières formant des tresses et contenant des gaz en dissolution et, en général, pour des petits débits de l'ordre de 20 m^3/h, certains modèles peuvent être dimensionnés jusqu'à 300 m^3/h ;

f) roue avec système sécateur (figure 22***b***), pour des eaux résiduaires comprenant des matières filandreuses, chargées de végétaux, lisiers pailleux homogénéisés, effluents industriels comportant des produits longs (abattoirs) et pour des débits allant jusqu'à 200m^3/h ; ce type de roue permet de réduire éventuellement le diamètre des tuyauteries en réduisant la grosseur des parties solides transportées ;

g) roue hélicocentrifuge, utilisée pour le relevage d'eaux pluviales, soit avec une colonne de transmission et un moteur extérieur, soit avec un moteur immergé (le groupe étant installé dans une tubulure formant une chambre de refoulement) et pour des débits allant jusqu'à 18 000 m^3/h.

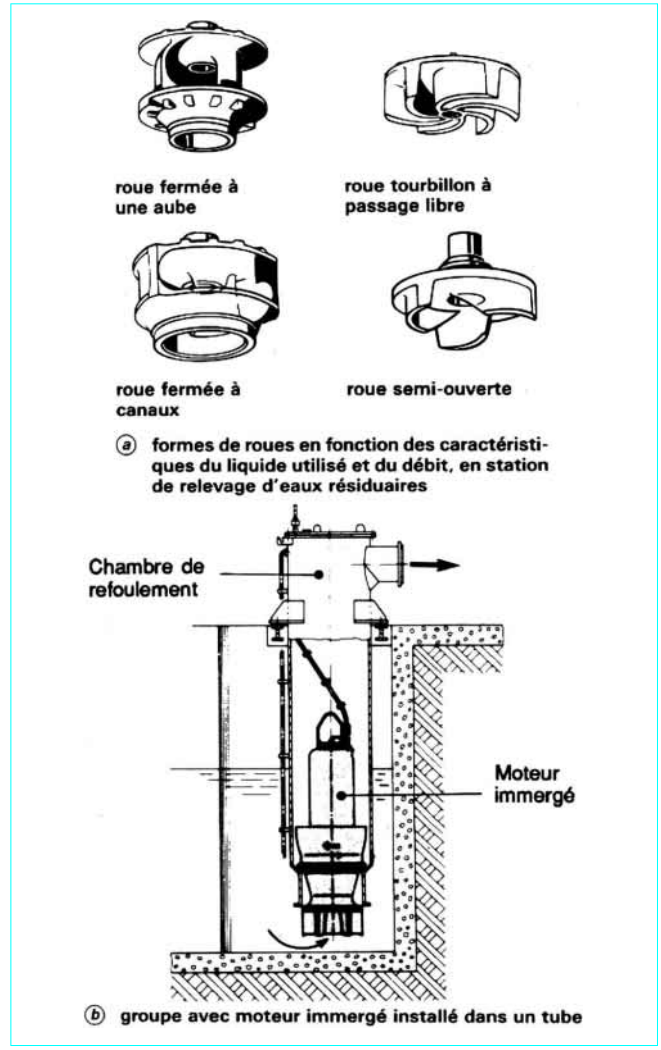
Pour des débits de 5 à 350 m^3/h, on trouve des stations de relevage d'eaux usées de conception « monobloc » préfabriquées. Elles sont constituées par une cuve en plastique à enterrer et contenant la pompe, son moteur, son câble et un interrupteur à flotteur.

Pour des débits plus importants, il faut signaler l'intérêt des vis d'Archimède (figure 27) dont la hauteur de refoulement est limitée à quelques mètres mais qui acceptent bien les variations de débit et le transfert de matières solides. En revanche, leur mise en place exige plus d'espace et elles ne peuvent être raccordées à une tuyauterie sous pression.

Les grilles de protection retiennent de 2 à 5 L de matières/(habitant · an) pour un espacement de 40 mm, le double pour un espacement de 20 mm.

Éviter toutes les vannes surtout à papillon, les clapets, etc., pour empêcher les engorgements. Le réglage du débit se fait par tout ou rien au moyen d'un interrupteur à flotteur dans la fosse d'aspiration, permettant le démarrage en cascade des pompes placées en parallèle (figure 28).

Les matériaux utilisés sont la fonte et l'acier.



ⓐ formes de roues en fonction des caractéristiques du liquide utilisé et du débit, en station de relevage d'eaux résiduaires

ⓑ groupe avec moteur immergé installé dans un tube

Figure 25 – Relevage d'eaux résiduaires et pluviales

3.13 Applications marines

Certaines des nombreuses applications à bord sont identiques à des applications à terre (chaudière, refroidissement de moteur, etc.). Nous ne traiterons que de celles qui sont spécifiques aux navires : pompes de cale, de ballast ou d'épuisement, etc.

Les contraintes principales sont les suivantes :

a) le pompage d'eau salée ou le risque de corrosion par atmosphère saline : la meilleure résistance est assurée par les bronzes, les plastiques, les aciers inoxydables ; éviter les couples électrolytiques ;

b) l'amorçage automatique pour les services de cale, d'incendie, d'épuisement, de ballast ;

c) le peu de place disponible, entraînant souvent une disposition verticale ;

d) une grande fiabilité, les réparations devant parfois attendre une escale et immobilisant le navire. Il faut donc prévoir des secours banalisés, utilisables sur des postes différents, ce qui est d'autant plus facile que le matériel est plus standardisé. Pour ce faire, on peut prévoir des groupes mobiles sur berceau, passant par une écoutille, fonctionnant en position horizontale ou verticale (élingués) et auto-amorçants ;

e) une facilité de démontage ;

Toute reproduction sans autorisation du Centre français d'exploitation du droit de copie est strictement interdite.
© Techniques de l'Ingénieur, traité Génie mécanique

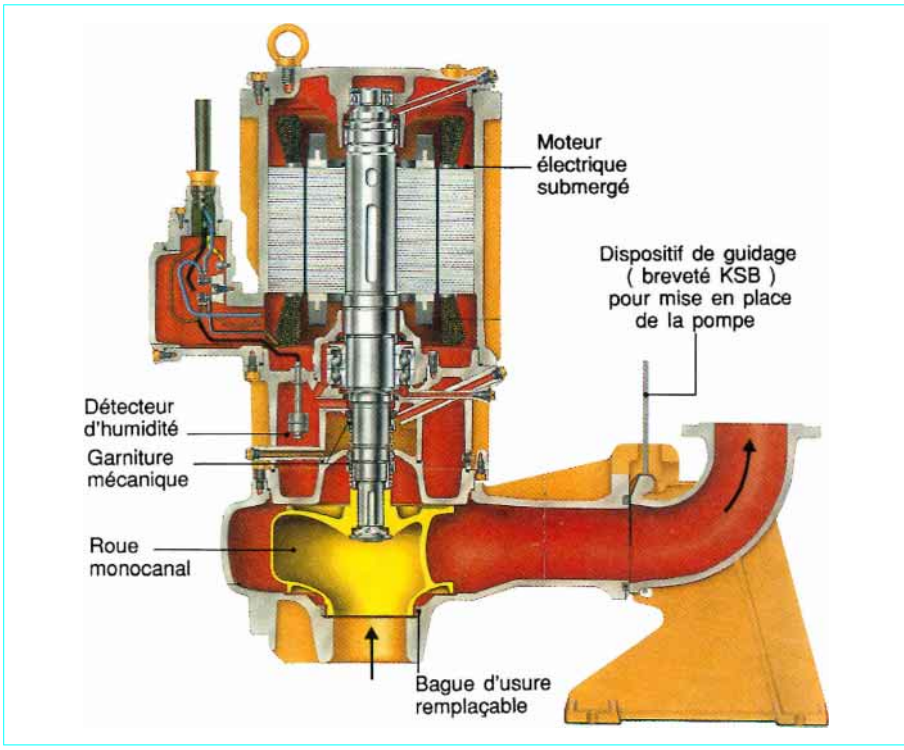

Moteur électrique submergé
Dispositif de guidage (breveté KSB) pour mise en place de la pompe
Détecteur d'humidité
Garniture mécanique
Roue monocanal
Bague d'usure remplaçable

Figure 26 – Pompe submersible à roue monocanal (d'après doc. KSB)

Figure 27 – Pompe à vis d'Archimède (d'après doc. Flygt)

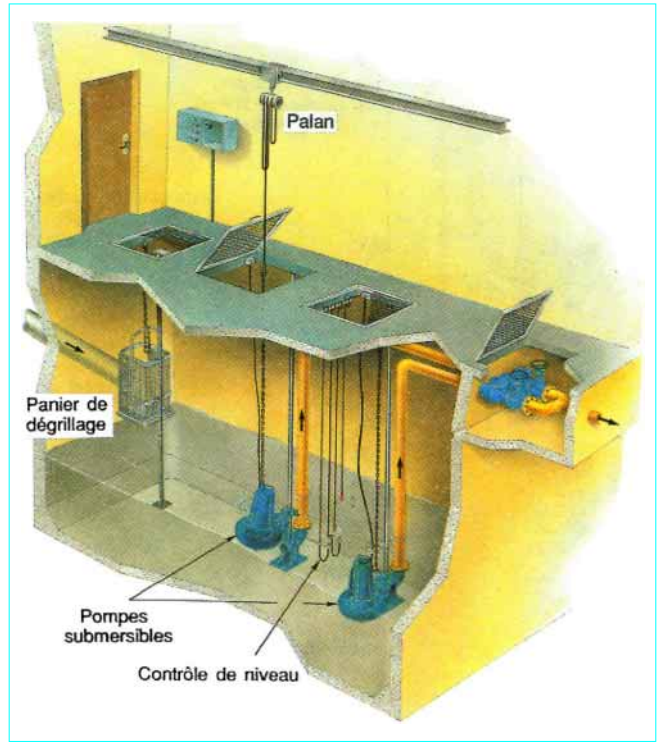


Figure 28 – Schéma d'un poste de relevage d'eau d'égout (d'après doc. Guinard – Groupe KSB)

f) une bonne tenue aux mouvements du navire, en particulier pour la lubrification, l'amorçage, le contrôle des niveaux. Les socles doivent être rigides pour éviter les désalignements et on peut équiper les tuyauteries de liaisons souples évitant la transmission des efforts ;

g) un fonctionnement submergé dans l'eau de mer pour certains postes, d'où une conception spéciale du moteur ;

h) une acceptation par les compagnies d'assurances (règlements du Lloyds Register, de l'American Bureau of Shipping, du Bureau Veritas, etc.). Les marines militaires ont leur propres normes très particulières (résistance aux explosions, amagnétisme, etc.) ;

i) un fonctionnement possible avec le courant du bord qui est souvent en 60 Hz (d'où un gain de vitesse et de place) et avec « la terre » qui est en 50 ou en 60 Hz.

Toute reproduction sans autorisation du Centre français d'exploitation du droit de copie est strictement interdite.
© Techniques de l'Ingénieur, traité Génie mécanique

3.14 Dessalement. Géothermie

Ces deux applications, apparemment différentes, utilisent le même matériel de pompage en raison de la salinité des eaux véhiculées et de la récupération d'énergie.

La **salinité** est un fait dans de nombreux forages profonds et aussi, bien sûr, en mer. Que le but soit de récupérer la chaleur de l'eau ou de la dessaler, le liquide pompé est de même nature. Cela impose soit des matériaux revêtus (*Rilsan*, émail, etc.), soit des matériaux nobles type 316L pour les roues et les diffuseurs, type *Uranus 50* pour les arbres, type *Uranus B6* stellité pour les butées et paliers ; cela est valable pour des salinités de 10 à 30 g/L dont il faut donner au constructeur une analyse détaillée et complète. Au-dessous de 10g/L, des matériaux classiques (acier au carbone protégé par revêtement époxy pour les tubes, acier inoxydable à 13 ou 17 % de Cr) sont suffisants.

Le *groupe pompe-turbine* (figure 29) est la solution qui permet d'atteindre de grandes profondeurs (jusqu'à 500 m) ou bien de réduire la consommation d'énergie électrique dans le cas du dessalement par osmose inverse. En géothermie, on alimente le groupe pompe-turbine dans le forage par une pompe en surface qui réinjecte sous pression l'eau pompée après une filtration à 50 µm et l'énergie ainsi produite est récupérée par ce groupe immergé à grande profondeur. En osmose inverse, on démarre l'installation en entraînant la pompe d'alimentation des osmoseurs par un moteur électrique ; le rejet d'eau non dessalée en provenance des osmoseurs (soit entre 25 et 75 % du débit d'alimentation) est alors envoyé sur la turbine hydraulique du groupe moteur-pompe-turbine, fournissant une partie de l'énergie motrice nécessaire (environ 1/3). Cela n'est toutefois rentable qu'en dessalement d'eau de mer ou de forte salinité, pour une pression de rejet de l'ordre de 50 bar.

En **géothermie**, il faut considérer les cas suivants : extraction ou réinjection.

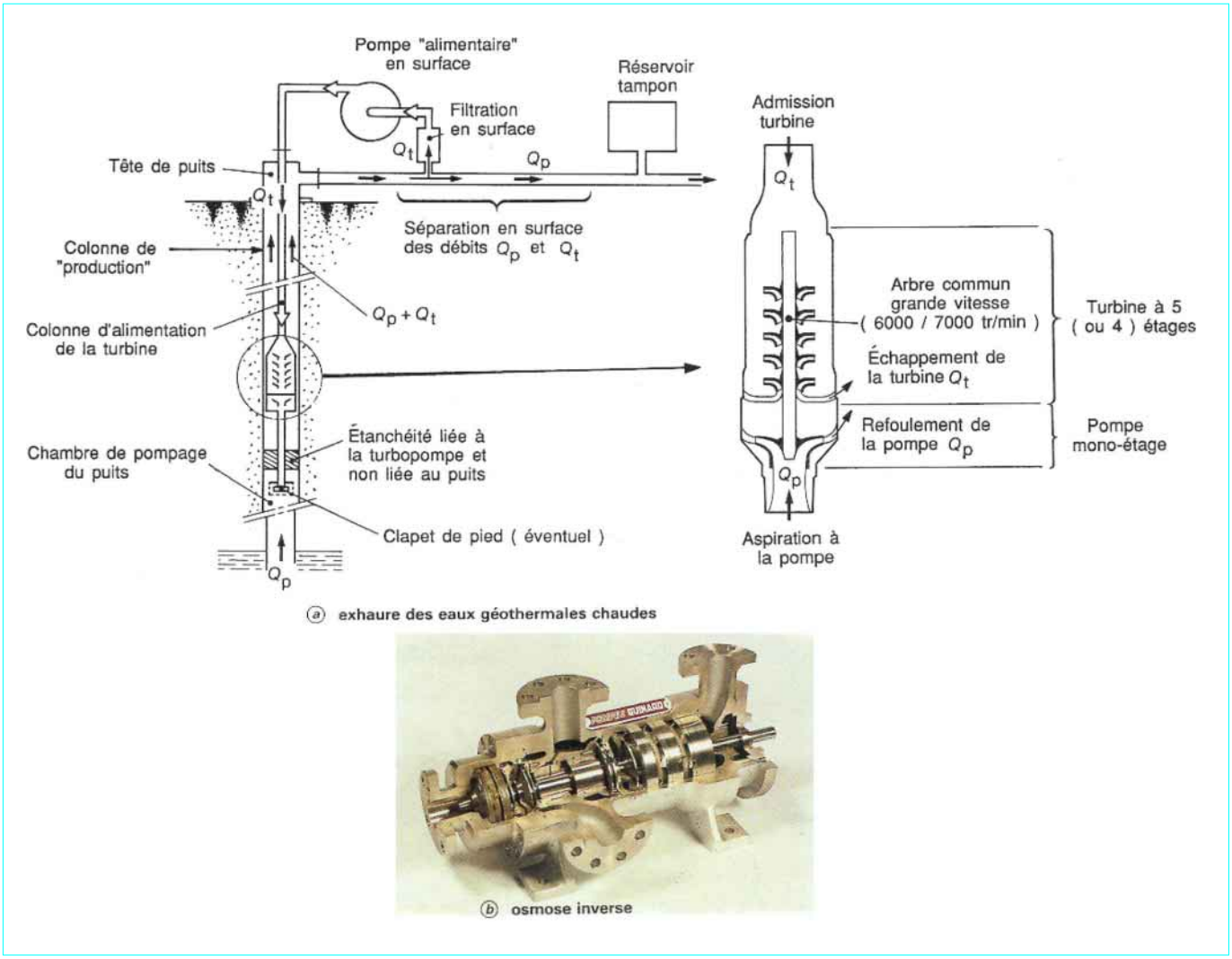

Pompe "alimentaire" en surface
Réservoir tampon
Filtration en surface
Admission turbine
Tête de puits
Q_t
Q_p
Séparation en surface des débits Q_p et Q_t
Colonne de "production"
$Q_p + Q_t$
Colonne d'alimentation de la turbine
Arbre commun grande vitesse (6000 / 7000 tr/min)
Turbine à 5 (ou 4) étages
Échappement de la turbine Q_t
Refoulement de la pompe Q_p
Pompe mono-étage
Chambre de pompage du puits
Étanchéité liée à la turbopompe et non liée au puits
Clapet de pied (éventuel)
Aspiration à la pompe
ⓐ exhaure des eaux géothermales chaudes
ⓑ osmose inverse

Figure 29 – Groupe pompe-turbine (d'après doc. Guinard – Groupe KSB)

Toute reproduction sans autorisation du Centre français d'exploitation du droit de copie est strictement interdite.
© Techniques de l'Ingénieur, traité Génie mécanique

Extraction

On utilise des **pompes verticales type forage**.

a) En cas de salinité très faible (< 20 g/L), d'une immersion inférieure à 300 m, et d'une température inférieure à 50 °C, une **pompe immergée** convient pour des débits jusqu'à 600 m^3/h mais le moteur doit être adapté aux eaux géothermiques.

b) En cas de salinité faible (> 20 g/L), d'une immersion inférieure à 200 m et d'une température inférieure à 130 °C, une **pompe verticale avec un moteur en surface** convient ; l'arbre est gainé et guidé par des coussinets en *Téflon* lubrifiés par de l'eau filtrée. La vitesse est généralement de 1 500 tr/min, le rendement est élevé et l'ensemble robuste. Pour une immersion inférieure à 80 m et une température inférieure à 70 °C, on peut utiliser un arbre non gainé avec des coussinets en caoutchouc sauf s'il y a présence de sable ou de matières abrasives dans l'eau.

c) En cas de forte salinité (< 100 g/L), d'une immersion inférieure à 500 m et d'une température inférieure à 300 °C, il faut employer un **groupe pompe-turbine** à 6 000 tr/min environ, la pompe étant alimentée depuis la surface en eau filtrée (celle du forage). C'est la meilleure solution pour des débits allant jusqu'à 350 m^3/h, mais elle est coûteuse. Prévoir en surface un réservoir de stockage pour remplir les tuyauteries avant démarrage et alimenter la pompe alimentaire en surface pendant le temps nécessaire à l'établissement du cycle (plusieurs secondes).

Réinjection

La salinité des eaux chaudes venant de couches profondes les rend inutilisables pour d'autres emplois que le chauffage. Elles sont donc réinjectées dans la couche d'où elles proviennent par des pompes horizontales types *process*, centrifuges multicellulaires ou du type vertical en cuvelage. Les matériaux sont les mêmes que pour les pompes d'extraction, soit principalement des aciers austénitiques à bas carbone (316 L par exemple). On a intérêt à utiliser des groupes à vitesse variable pour ajuster le débit (entre 100 et 350 m^3/h), ce qui donne plus de souplesse et économise l'énergie. La pression varie de 10 à 50 ou 60 bar au refoulement. La pression d'aspiration est celle à la sortie des échangeurs ce qui ne pose généralement pas de problème.

3.15 Pompes de chantier

Les caractéristiques sont la mobilité, l'absence d'énergie électrique, un service intermittent, la présence d'impuretés (sable, graviers, débris, air, etc.).

La station se résume à un groupe mobile auto-amorçant (figure **30**) entraîné directement ou par courroies par un moteur électrique ou thermique et à un flexible à l'aspiration avec une crépine mais pas de clapet de pied en raison des impuretés. La pompe est auto-amorçante jusqu'à 7,5 m environ et la hauteur totale est souvent constituée par celle d'aspiration.

Ces pompes sont utilisées pour des assèchements mais aussi pour des transferts, des alimentations. Elles véhiculent des eaux contenant jusqu'à 25 % d'impuretés et doivent donc être démontables dans des conditions « de chantier », être simples et robustes. Les points importants sont l'étanchéité de la boîte à étoupe pour éviter les entrées d'air et le maintien de l'aspiration sur un équipement qui travaille essentiellement en aspiration. Les débits ne peuvent être garantis à moins de 10 % et ils s'entendent pour une aspiration à 6 m ; au-delà, ils sont plus faibles. Les roues sont ouvertes ou semi-ouvertes et les matériaux sont la fonte et l'acier, parfois la fonte alliée pour résister à l'usure.

Noter que ce type de pompe est aussi utilisé en irrigation (§ 3.11).

Il existe maintenant une grande variété de modèles répondant à de nombreuses applications qu'il est plus intéressant de louer que d'acheter.

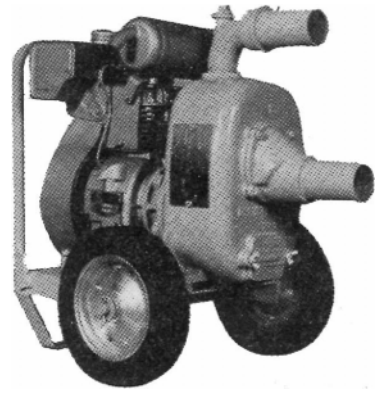


Figure 30 – Pompe auto-amorçante pour chantiers
(d'après doc. Ultra Pompe)

3.16 Pompes à ciment

Pour l'injection de **laits de ciment**, qui se fait avec un faible débit et une pression élevée, on utilise des **pompes alternatives à plongeurs** entraînées par air comprimé ou par moteur (§ 3.9). L'air comprimé permet de maintenir une pression sans débit (calage de la pompe) ce qui est un avantage.

Le corps de pompe est en acier coulé jusqu'à 50 bar, en acier forgé au-delà. Les clapets sont du type à boule, accessibles séparément pour le nettoyage. Les garnitures d'étanchéité des plongeurs sont en forme de chevrons, en caoutchouc et arrosées à l'eau claire sous pression. Les plongeurs sont en acier traité en profondeur pour résister à l'usure. La vitesse de marche est de 10 à 15 m/min pour le plongeur.

Pour les transferts de **béton**, on emploie l'air comprimé de préférence aux pompes et les appareils à projeter le béton sont des ensembles décrits dans l'article *Matériels à air comprimé* [C 130], dans le traité Construction.

3.17 Pompes pour épreuves hydrauliques

Il s'agit de mettre un appareil préalablement rempli d'eau sous une pression permettant de vérifier la bonne étanchéité et la bonne résistance mécanique de l'appareil.

En dehors de la pompe classique à main, il existe des **pompes hydropneumatiques** (figure **31**) très bien adaptées à ce service car elles sont actionnées par air comprimé pendant la période de montée en pression et elles s'arrêtent par calage à la pression prédéterminée par le réglage d'un détendeur placé sur l'arrivée d'air.

De plus, pendant le maintien en pression de la capacité en épreuve, il y a toujours sur la pompe ou la tuyauterie quelques fuites qu'il faut compenser, ce qui se fait automatiquement.

En revanche, pour le remplissage du volume à éprouver, le débit de ces pompes est trop faible et il faut utiliser un réseau d'eau sous pression ou une pompe centrifuge. L'installation doit permettre de purger tout l'air de l'ensemble afin d'éviter de graves accidents.

3.18 Pompes pour hydrocarbures

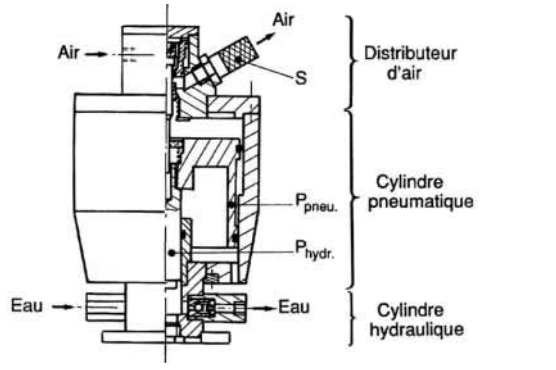
Il faut faire la différence entre le pompage de produits finis et celui de produits bruts en cours de transport ou de raffinage, qui comporte des risques de corrosion et des problèmes de température et de pression.

Toute reproduction sans autorisation du Centre français d'exploitation du droit de copie est strictement interdite.
© Techniques de l'Ingénieur, traité Génie mécanique

Dans tous les cas, la pression de vapeur est un paramètre important (NPSH). On peut utiliser des pompes avec hélice de gavage qui peuvent fonctionner en mélange gaz-liquide.

Le matériel électrique est impérativement anti-déflagrant et, en raffinerie, l'emploi de la turbine à vapeur est intéressant. Les socles seront à récupération des fuites.

Les tuyauteries doivent être tracées pour éviter les poches de vapeur et permettre une purge automatique des gaz. Elles sont en acier et à brides pour des raisons de sécurité ; elles sont calorifugées pour les produits lourds réchauffés. Le choix des joints est important et à faire en liaison avec le fabricant.



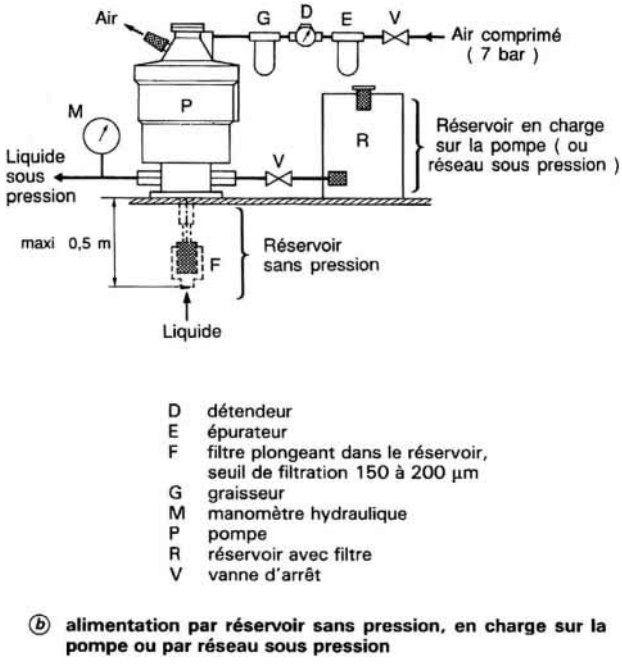


Figure 31 – Pompe hydropneumatique pour épreuves hydrauliques
(d'après doc. PMH)

■ Pour les **produits finis** (carburants, huiles et combustibles), un **matériel classique** convient avec les remarques suivantes :

— le risque de rouille ou d'autres corrosions est inexistant, donc la fonte et l'acier conviennent ;

— pour les produits légers, prévoir du matériel anti-déflagrant (voir les règlements en cours) et faire attention à la qualité et à l'entretien des garnitures mécaniques. Là où il peut y avoir frottement entre parties fixes et mobiles, prévoir des pièces en bronze ou baguées en bronze pour éviter les étincelles ;

— soigner la ventilation des locaux ;

— pour les produits visqueux, l'emploi de pompes rotatives est indiqué. Utiliser des pompes à chemise de réchauffage, un traçage à la vapeur et un calorifugeage des tuyauteries pour les produits très visqueux.

■ Pour les **gaz liquéfiés** (GPL), on utilise des pompes type *process* (décrites plus loin) en raison de la pression de vapeur. Mettre les pompes en charge ou utiliser des pompes verticales en cuvelage (figure **32**) qui peuvent même être installées à l'intérieur du stockage si les niveaux permettent une vidange suffisante.

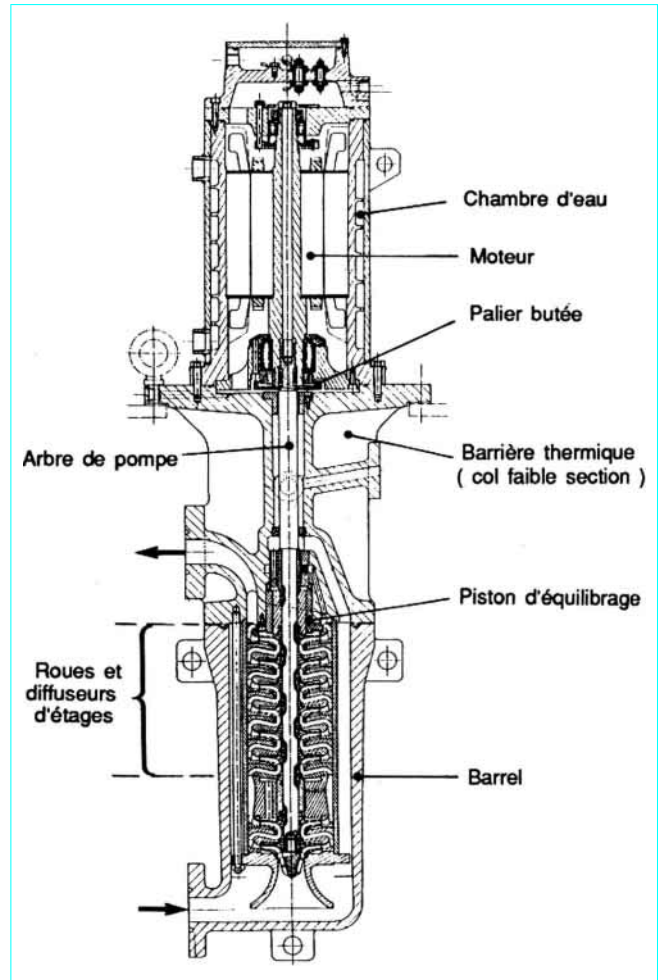


Figure 32 – Pompe verticale pour gaz liquéfiés
(d'après doc. Guinard – Groupe KSB)

Toute reproduction sans autorisation du Centre français d'exploitation du droit de copie est strictement interdite.
© Techniques de l'Ingénieur, traité Génie mécanique

On peut aussi utiliser des compresseurs en aspirant les vapeurs du réservoir à remplir et en les refoulant dans le réservoir à vider que l'on met ainsi en pression. La différence de pression chasse le liquide d'un réservoir à l'autre par une tuyauterie de liaison. Il faut éviter les vannes ; en cas d'impossibilité, placer des soupapes de sûreté empêchant toute montée anormale en pression. Il faut aussi empêcher le liquide de pénétrer dans le compresseur. Les compresseurs utilisés pour ce service sont du type « frigorifique » (cf. article spécialisé dans ce traité).

■ Pour les **pipe-lines**, on utilise des pompes centrifuges multi-étagées en les associant au besoin en série pour diminuer la puissance et le nombre d'étages unitaires.

Les pressions de refoulement sont déterminées par l'optimisation économique de la tuyauterie (diamètre, épaisseur). Les pompes doivent être interchangeables et il faut prévoir un secours installé.

Ces pompes doivent en général être alimentées avec une pression de 1 à 5 bar à l'aspiration. Au départ du pipe-line, il faut installer des pompes surpresseuses à un étage pour alimenter la première pompe de la station. Ces surpresseuses doivent pouvoir fonctionner avec une légère dépression à l'aspiration pour vider les bacs de stockage.

■ **Pompages en raffinerie :** les pompes utilisées correspondant aux caractéristiques ci-après sont appelées « type process » (figure **33**). Distinguer les produits blancs (du propane au gazole) des produits noirs (du fuel aux asphaltes).

Les températures vont jusqu'à 400 °C environ et les liquides sont souvent corrosifs, d'où la nécessité de refroidir les supports des pompes.

Les matériaux sont la fonte jusqu'à 250 °C et 35 bar et l'acier (préféré pour sa résistance au feu et aux chocs) jusqu'à 450 °C et 35 bar ou 250 °C et 50 bar.

Les boîtes à étoupe, paliers, socles, etc. doivent être refroidis à partir de 150 °C environ.

Les garnitures sont mécaniques (simples ou doubles) en raison du danger présenté par les fuites des garnitures à tresse.

Les tuyauteries sont raccordées verticalement sur la pompe, parfois horizontalement à l'aspiration, afin d'éliminer les poches de gaz.

Les paliers sont lubrifiés à l'huile en raison des températures incompatibles avec la graisse (à partir de 120 °C).

Les accouplements sont métalliques en raison des puissances transmises et des projections possibles d'hydrocarbures, ce qui élimine le caoutchouc. Ils sont à pièce d'écartement pour faciliter le démontage.

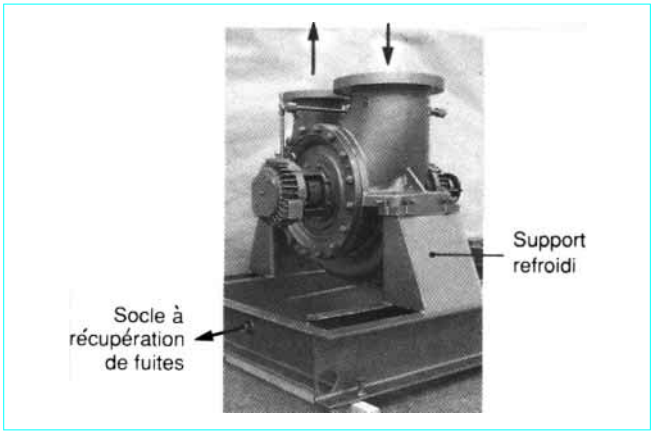


Figure 33 – Pompe centrifuge type *process* pour pompage en raffinerie (d'après doc. Guinard – Groupe KSB)

Les supports de tuyauterie doivent être soignés et conçus en fonction des températures pour éviter tout effort sur les pompes. Les circuits de produits chauds sont calorifugés.

Le matériel électrique doit être anti-déflagrant.

La robinetterie est en acier ou en acier inoxydable et, la plupart du temps, elle est motorisée.

3.19 Industries chimiques

Les problèmes rencontrés sont nombreux : corrosion, abrasion, température, viscosité, etc. mais, heureusement, les débits et hauteurs sont modérés. Les pompes centrifuges sont adaptées, ainsi que les pompes rotatives en cas de liquides visqueux.

La résistance à la corrosion est une question de matériaux : métaux, plastiques, revêtements en caoutchouc ou en plastiques, porcelaine, verre, graphite, etc. On emploie souvent l'acier inoxydable 316L poli ; pour les garnitures mécaniques, on assemble les aciers inoxydables, le stellite, l'*Hastelloy*, le *Monel*, le graphite, la porcelaine, le *Viton*, le *Téflon* chargé de verre, etc.

Lorsque la température (< 60 °C) et la pression (< 10 bar) le permettent, les tuyauteries en polychlorure de vinyle (PVC), assemblées par collage, sont une bonne solution, ainsi que le polyéthylène. Les vannes existent aussi en PVC avec obturateur en caoutchouc (*Viton*), du type Saunders, jusqu'à 100 mm.

En outre, il faut éviter la corrosion électrolytique, donc les assemblages de métaux de potentiels différents, et le grippage entre parties fixes et mobiles lorsque certains métaux (aciers inoxydables austénitiques) sont face à face.

Enfin, si les fuites de liquide sont corrosives, explosives ou délétères, il faut utiliser des garnitures mécaniques, au besoin doubles, ou bien recourir à une pompe verticale noyée dans le liquide pompé, le moteur restant en surface. Cela résout le problème de l'amorçage et du retour des fuites dans le bac d'aspiration. On peut aussi utiliser des pompes sans presse-étoupe comme celles mentionnées pour l'énergie nucléaire (§ 3.8) ou à entraînement magnétique pour des puissances de quelques kilowatts.

Dans le cas de liquides visqueux, la pompe centrifuge perd beaucoup de ses possibilités ; malheureusement, la pompe rotative avec des pièces en frottement peut ne pas convenir si les matériaux retenus sont grippants ou le liquide abrasif. Dans ce cas, il reste les pompes péristaltiques, limitées à de faibles débits (3 m^3/h).

La conception des pompes centrifuges a intérêt à être du type *process*, c'est-à-dire en charge avec des tuyauteries verticales, et démontable sans toucher aux tuyauteries ni au moteur.

Le refroidissement ou le réchauffage du corps de pompe et de la boîte à étoupe sont parfois nécessaires.

Penser aux protections contre les écoulements de liquide lors des démontages.

Pour les produits chimiques, particulièrement en cours de fabrication, toujours donner aux fournisseurs une analyse détaillée du liquide ainsi que les plages de températures, pressions, débits, etc. Vérifier également que les matériaux mis en contact, en particulier avec deux éléments différents (pompe et tuyauterie, par exemple) sont compatibles entre eux dans les conditions d'exploitation.

3.20 Industrie de la pâte à papier

Les débits importants nécessitent des pompes centrifuges et les faibles hauteurs impliquent une vitesse modérée (1 000 ou 1 500 tr/min).

La pâte à papier est à des concentrations de 10 à 80 g/L d'eau (1 à 8 % de matières sèches). Au-dessus de 3 %, la pâte est un liquide épais susceptible de bourrer dans les pompes. Il faut donc des pompes semblables à celles pour liquides chargés, à très large section de passage, avec trappe de visite pour débourrer à l'intérieur de la pompe.

Toute reproduction sans autorisation du Centre français d'exploitation du droit de copie est strictement interdite.
© Techniques de l'Ingénieur, traité Génie mécanique

Utiliser des pompes largement dimensionnées, travaillant dans la partie gauche de la courbe débit-rendement c'est-à-dire dans la zone de débit inférieur au débit correspondant au maximum de rendement (figure 7) ; et cela car les caractéristiques sont réduites par rapport à l'eau. Seul, le constructeur peut faire les corrections nécessaires et il importe d'être précis dans l'appel d'offres. De plus, le moteur devra être de puissance largement calculée pour supporter des variations prolongées de concentration. Pour les mêmes raisons, prévoir une aspiration en charge car le liquide épais et fibreux est mal aspiré et contient souvent de l'air, cause de désarmorçage.

Les roues sont de préférence du type ouvert, hélicocentrifuge (canal) ou tourbillon, s'il n'y a pas de risque de dégazage, ou à vis centrifuge (*Hydrostal*) permettant de véhiculer des pâtes à 15 % de matières sèches.

Le calcul des pertes de charge demande l'emploi d'abaques établis pour les différents types de pâtes et différentes concentrations. En général, les écoulements à basse vitesse sont très turbulents mais cette turbulence diminue lorsque la vitesse augmente, d'où une croissance plus lente, sinon une diminution, des pertes de charge. Éviter les vannes et les clapets et prévoir une tuyauterie d'aspiration large et directe.

Arroser en eau claire les boîtes à étoupe pour éviter l'entrée de pâte.

Enfin, tout cela se combine avec les réactifs utilisés qui provoquent des corrosions et également une abrasion lors du pompage de liqueur noire.

3.21 Industries alimentaires, parapharmacie et cosmétiques

La variété des produits véhiculés est grande : lait, bière, vin, jus sucrés, petits pois, poissons, etc. Nous distinguerons les pompes à liquide classiques et les applications spéciales (pompage de solides).

Dans les deux cas, consulter les règlements d'hygiène applicables.

Pompages classiques

Sauf pour l'eau, le matériau utilisé est souvent l'acier inoxydable (austénitique 18/10) ou les matières plastiques pour les parties en contact avec le liquide et cela, avant tout, pour ne pas polluer les produits véhiculés et permettre un nettoyage efficace avec des produits qui sont parfois corrosifs (eau de Javel), ou chauds (vapeur). Si les produits transférés ne sont pas toujours agressifs à l'état frais, ils le deviennent souvent en stagnation et sont l'objet de développements bactériens, ce qui demande des surfaces polies et sans recoins pour faciliter le nettoyage.

Il est donc impératif d'avoir une facilité de nettoyage de toute l'installation, une résistance aux produits de nettoyage et un rinçage final de l'installation. Comme les débits sont en général faibles ou modérés, l'emploi de l'acier inoxydable n'est pas rédhibitoire.

Les pompes utilisées sont des pompes centrifuges jusqu'à 100 m^3/h et 120 m, ou à canal latéral jusqu'à 30 m^3/h et 150 m, ou des pompes rotatives pour les produits visqueux, jusqu'à 50 m^3/h, 10 bar et 100 000 cP. Pour ces dernières, tenir compte de la viscosité à la vitesse de pompage qui peut être très différente de celle mesurée dans un viscosimètre classique (liquides thixotropiques, dilutants ou pseudoplastiques).

Les moteurs sont à protéger par un capot pour les mettre à l'abri des éclaboussures durant le nettoyage.

Les raccordements sont souvent filetés.

Pour les liquides pouvant cristalliser, prévoir des arrivées de liquide clair sur les boîtes à étoupe et disposer des piquages sur les tuyauteries pour rinçage à l'eau chaude avant les arrêts.

Pour les produits visqueux, on utilise le réchauffage à la vapeur et, pour les tuyauteries, le traçage à la vapeur ou électrique. Dans de tels cas, augmenter la pression et la puissance pour le cas de démarrage à froid (majorer la pression de 50 à 100 %, ce qui exclut les pompes centrifuges).

Éliminer les pompes où les roulements sont baignés par le liquide pompé.

Pompages spéciaux

Il s'agit de pomper des produits alimentaires solides en suspension dans un liquide porteur (eau). C'est le cas de certains légumes, du poisson, etc.

Pour cela, il faut des circuits aussi directs que possible, sans variation brusque de tracé ou de section, sans robinetterie, donc qui ne peuvent pas se boucher.

Les pompes sont des pompes centrifuges à large section, donc à grand débit, d'où un dimensionnement des tuyauteries en conséquence, ou, mieux, des pompes à roue tourbillon ou vortex où le liquide ne passe pas dans la roue, ou encore à vis centrifuge (*Hydrostal*).

Dans ces applications, l'emploi de l'acier inoxydable n'est pas toujours nécessaire. Il vaut mieux éviter le bronze, surtout pour les bassins d'aquaculture.

3.22 Dosage et proportionnalité

Une **pompe doseuse** est une pompe qui, en plus du transfert de matière, assure le dosage de la quantité de liquide pompé. Pour cela, on utilise des pompes volumétriques, le plus souvent alternatives.

La marche de la pompe peut être asservie à une autre grandeur variable (débit ou concentration d'un autre liquide, par exemple), assurant alors une proportionnalité entre cette grandeur et le produit pompé.

Pour les pompes alternatives, on règle le débit par la course du plongeur et par la vitesse ; pour les pompes rotatives, on ne joue que sur la vitesse. Les pompes alternatives sont à plongeur (les plus précises) ou à membrane ou soufflet commandés hydrauliquement (précis) ou mécaniquement (moins précis).

Les pompes rotatives sont généralement du type péristaltique ou à engrenages hélicoïdaux (pompe Moineau). Elles sont moins précises que les pompes alternatives ; en particulier, leur débit diminue sensiblement lorsque la pression de refoulement augmente. Les pompes péristaltiques véhiculent des produits pâteux ou chargés. Dans ce cas, il faut utiliser des vannes à manchon. Toutes ces pompes ont un pouvoir d'aspiration, surtout les pompes péristaltiques, mais il ne faut pas provoquer de vaporisations qui fausseraient les dosages. De plus, pour les pompes alternatives, il faut une pression au refoulement sinon il y a siphonnage à travers les clapets, ce qui fausse le dosage. Au besoin, créer artificiellement cette pression par un clapet taré.

On peut associer plusieurs pompes, mêmes différentes, sur un seul moteur, ce qui assure un rapport constant entre les débits.

Noter l'existence de groupes complets constitués par un bac, une pompe, un agitateur et divers accessoires (figure 34).

Pour la proportionnalité, on peut en particulier asservir la pompe à un débit mesuré par un compteur qui émet des impulsions électriques au besoin reprises par un compteur d'impulsions. On peut aussi, pour de très faibles puissances, entraîner le doseur par le compteur. C'est l'énergie du liquide où se fait l'injection qui entraîne la pompe doseuse, sans électricité.

Toute reproduction sans autorisation du Centre français d'exploitation du droit de copie est strictement interdite.
© Techniques de l'Ingénieur, traité Génie mécanique

Les plages de débit courantes sont :

— pompes alternatives à plongeur :	de 1 à 15 000 L/h précision 0,5 à 1 %
— pompes alternatives à membrane :	
• à commande mécanique :	de 1 à 20 L/h précision 3 à 5 %
• à commande hydraulique :	de 12 à 3 000 L/h précision 1 %
— pompes péristaltiques :	de 50 à 20 000 L/h
— pompes rotatives (Moineau) :	< 500 m^3/h et 60 bar.

Les pressions peuvent être très élevées (pompes à plongeur : 900 bar) mais sont limitées par le choix des matériaux ; l'usage des matières plastiques ou du verre, intéressant pour la résistance à la corrosion, est incompatible avec les pressions au-delà de 15 bar ou les températures supérieures à 60 °C ; au-delà, les alliages inoxydables s'imposent (figures **35**).

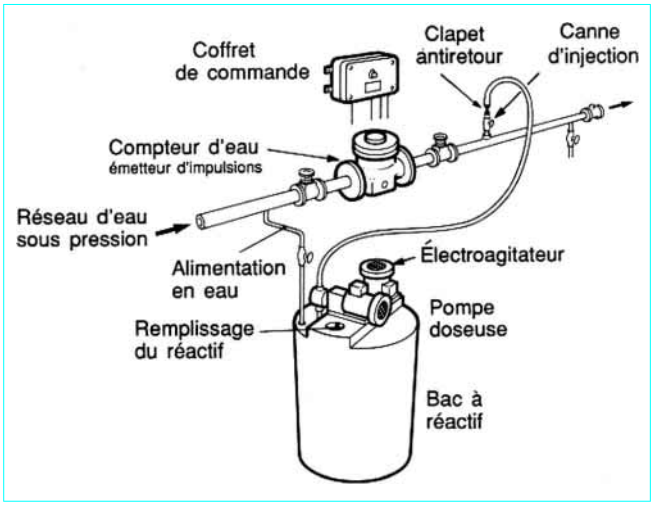


Figure 34 – Installation type d'une pompe doseuse

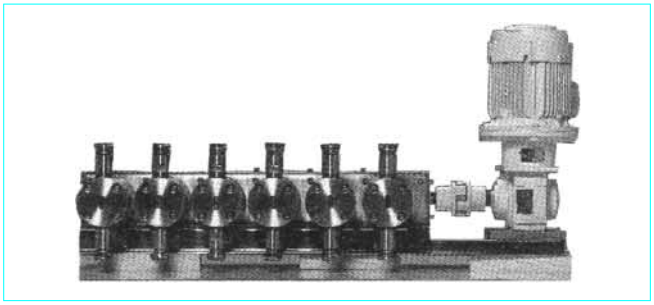


Figure 35 – Combinaison pour un même moteur de plusieurs doseurs (d'après doc. Préci-pompe)

4. Spécifications

4.1 Éléments impératifs et liberté de choix

Après avoir passé en revue les données de base (§ 2), il faut définir clairement :

— les *données indispensables* (nature du liquide, hauteur, débit, température, etc.) ;

— les *préférences et exigences* (joint horizontal, mode d'entraînement, type de vanne, etc.) en précisant ce qui est une préférence et ce qui est une exigence.

Ne pas imposer à un constructeur la conception d'un autre. Il est important de dire ce que l'on veut faire, ce qui est exigé, acceptable ou inacceptable, les normes à respecter.

L'utilisateur n'ayant pas l'expérience du constructeur ne doit pas prendre la responsabilité de la construction de la pompe en définissant les moindres détails. De plus, un constructeur peut apporter des idées nouvelles et il faut lui laisser la possibilité d'offrir des variantes et les examiner.

Il vaut mieux définir les points de départ et d'arrivée, et demander une garantie de performance et de tenue plutôt que de spécifier en détail une conception et une construction. L'examen de références et leur contrôle sont souvent très instructifs.

La rédaction d'une spécification doit être faite dans cet esprit. Éviter surtout la rédaction d'un cahier des charges fermé, qui n'est parfois que la $n^{ième}$ recopie d'un texte ancien et périmé, faisant référence à des matériels disparus.

Aux États-Unis en particulier, les constructeurs éditent des brochures, fort bien faites en général, qui comportent à la fin le texte à utiliser dans les spécifications ; mais ce texte comporte toujours un ou deux détails sans intérêt, destinés à éliminer les concurrents, ce qui n'est pas à l'avantage du client.

4.2 Étude sur modèle

Lorsque le projet est important, concerne des débits rarement rencontrés, etc., une étude sur modèle est une excellente mise au point. Cette méthode, fréquemment utilisée par les Anglo-saxons, l'est beaucoup moins en France. Lorsque son prix, même élevé, n'est qu'un faible pourcentage du projet, il est justifié par l'élimination de défauts qui peuvent coûter très cher : tracé de fosse d'aspiration, fonctionnement de pompes côte à côte, cavitation ou vortex (figure **36**), etc., et qui sont pratiquement impossibles à éliminer une fois le génie civil exécuté. Elle peut aussi mettre en lumière des solutions moins onéreuses que celles prévues. Cela concerne non seulement la conception hydraulique mais aussi la régulation, les automatismes, etc.

4.3 Évolution des normes et standards

Cette évolution se fait dans le sens d'une internationalisation et, même si des normes sont « nationales », elles sont souvent en grande partie identiques à celles d'autres nations (par exemple, pour les brides).

Cependant, dans les appels d'offres internationaux, les normes spécifiées sont en général celles du pays de l'ingénieur-conseil qui a rédigé la spécification ; ces normes sont souvent anglaises (BS), américaines (surtout en métallurgie), allemandes (DIN), parfois françaises (UTE). Dans certains domaines, elles peuvent être très différentes (par exemple, SAE et DIN pour la puissance des moteurs).

Toute reproduction sans autorisation du Centre français d'exploitation du droit de copie est strictement interdite.
© Techniques de l'Ingénieur, traité Génie mécanique

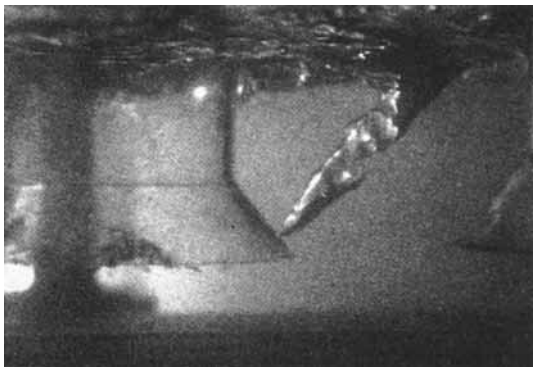


Figure 36 – Visualisation d'un vortex (d'après doc. Bergeron)

En réalité, l'évolution est encore timide, d'autant plus que certains pays en voie de développement rédigent maintenant eux-mêmes leurs spécifications en s'inspirant de documents parfois périmés dans leur pays d'origine.

5. Contrôles

5.1 Contrôles en usine du constructeur

5.1.1 Matériaux

Il existe plusieurs possibilités :

— le certificat du constructeur, facile à obtenir et permettant souvent l'emploi de pièces ou matières en stock ;

— le certificat du fournisseur de matériaux, qui implique l'emploi de matériaux identifiés chez le constructeur mais élimine les pièces en stock ;

— le prélèvement et le contrôle d'éprouvettes attenantes, qui impliquent une fabrication spéciale.

Les prix sont plus élevés et les délais plus longs pour les deux dernières possibilités. Ces exigences doivent donc être justifiées par un service sévère.

5.1.2 Épreuves hydrauliques

Elles ont pour but de vérifier la résistance mécanique (pratiquement sans incident) et l'absence de fuites (indispensable).

Elles se font en usine pour le matériel et sur place pour l'ensemble de l'installation. Dans ce dernier cas, penser que certains éléments sont conçus pour la pression d'aspiration seulement : tuyauteries, clapet d'aspiration.

Pour les parties sous vide, les essais sont effectués à 3 bar et, pour celles sous pression, à 150 % de la pression de service. Il est très important de purger toute poche d'air.

Là encore, on peut :

— faire confiance au constructeur (grande série) ;

— demander un certificat d'épreuve ;

— assister aux essais, ce qui entraîne en fait un second essai, une immobilisation de la plate-forme d'essais ou un second montage, donc des frais supplémentaires.

Les tuyauteries, sauf cas d'espèce, ne sont essayées que sur le site.

Les fuites décelées, si elles sont minimes et localisées, peuvent être réparées par soudure ou par imprégnation avec une résine compatible avec le service.

5.1.3 Essais de fonctionnement

Pour des vannes ou des clapets, il peut s'agir d'un essai d'étanchéité en position de fermeture. Le fonctionnement des moteurs de commande est à vérifier.

Pour les pompes, vérifier les courbes débit-hauteur, débit-rendement, débit-puissance. Pour un débit fixé, les tolérances sont usuellement de ± 5 % à ± 3 % sur la hauteur, ± 2 ou 3 points sur le rendement (normes NF X 10-601 et NF X 10-602). Dans tous les cas, le constructeur peut garantir un point de fonctionnement mais pas une courbe.

Pour les moteurs électriques, on peut faire un essai diélectrique et une mesure de rendement avec des contrôles de températures et de vibrations. Les armoires peuvent faire l'objet de simulations.

Pour les moteurs thermiques, vérifier la consommation à pleine charge et la température ainsi que les vibrations et la régulation de vitesse.

Pour les turbines à vapeur, faire un essai de consommation, de vibrations et de régulation de vitesse et vérifier les sécurités.

Tous ces essais doivent être faits en accord avec les normes spécifiées par l'acheteur.

Pour les puissances ou débits importants, ces essais ne peuvent être réalisés à pleine charge en plate-forme et on opère alors à vitesse réduite. Dans ce cas, les rendements sont inférieurs à ceux obtenus à pleine vitesse, certaines pertes restant constantes ou proportionnelles à la vitesse. Pour les pompes centrifuges, le rendement doit être corrigé par la formule suivante :

$$\eta_2 = \eta_1 / [\eta_1 + (1 - \eta_1) K_n] \quad \text{avec} \quad K_n = \left(\frac{N_1}{N_2}\right)^{0,17}$$

avec η rendement,

N vitesse de rotation,

1 et 2 indices respectivement pour l'essai et la pleine charge.

De la même façon, un essai à froid donne un rendement inférieur à un fonctionnement à chaud car la viscosité du liquide d'essai est plus grande. La même formule est applicable en remplaçant K_n par K_t tel que :

$$K_t = (\nu_1 / \nu_2)^{-0,07}$$

avec ν viscosité cinématique.

Parfois, il faut vérifier le NPSH, ce qui exige une installation coûteuse.

Ces essais peuvent faire l'objet :

— d'un certificat ou d'une courbe établis par le constructeur, se référant à l'essai d'un prototype (grande série) ou à l'essai du matériel lui-même ;

— d'un essai en usine auquel assiste le client (supplément de prix et de délai).

Toute reproduction sans autorisation du Centre français d'exploitation du droit de copie est strictement interdite.
© Techniques de l'Ingénieur, traité Génie mécanique

5.1.4 Contrôles divers

On peut être amené à contrôler :

— le **bruit**, dans des locaux spéciaux ; une cause importante de bruit réside dans la circulation du liquide dans les tuyauteries, ce qui n'est pratiquement pas mesurable dans de tels locaux ; pour réduire le bruit et sa transmission, le lecteur se reportera aux articles d'acoustique des traités Construction et Électronique ;

— l'**échauffement des paliers** et l'**étanchéité des garnitures** ; pour les échauffements, attendre au moins deux heures de marche. Les garnitures à tresse doivent laisser suinter 3 gouttes à la minute ; les garnitures mécaniques doivent être étanches et ne pas chauffer ;

— les **vibrations** : une amplitude de 125 µm est normale sur une machine tournante. Tenir compte de ce qu'une installation provisoire d'essai est moins rigide qu'une installation définitive.

5.2 Contrôle de l'installation sur le site, avant mise en route

Le contrôle doit être effectué par l'utilisateur ou son délégué.

Les points principaux à vérifier sont :

— la conformité avec les lois, règlements, etc., en particulier ceux relatifs à l'hygiène et à la sécurité ;

— le dimensionnement : cotes de démontage, diamètres de tuyauteries, niveaux (en particulier ceux relatifs au NPSH), sections de câbles, pentes de tuyauteries, raccordements avec l'extérieur, sections des grilles, tamis, crépines, etc. ;

— les pleins d'huile ;

— le sens de rotation des pompes et le fonctionnement motorisé des vannes ;

— le contrôle complet du fonctionnement des armoires électriques, y compris les alarmes, sécurités et télécommandes ;

— l'absence d'efforts provoqués par les tuyauteries sur les brides des pompes ;

— l'élimination des cales de réglage sous les socles après scellement ;

— l'alignement des pompes et moteurs, à chaud si nécessaire ;

— l'absence de fuites et d'entrées d'air (épreuves hydrauliques de l'ensemble) ; **bien prévoir la mise à disposition d'eau pour les essais, cela peut coûter très cher s'il faut l'amener par camions citernes** ;

— le lavage des tuyauteries et l'élimination des chiffons, outils, nettoyage des fosses, des réservoirs, etc. ;

— les dispositifs d'amorçage ;

— les contrôles dynamiques sur chaque pompe, les réglages des débits, hauteurs, le contrôle de la puissance, de la tension, des vibrations, l'absence de coups de bélier aux arrêts et mises en route ;

— la remise des plans de récolement, des notices, coupes, pièces de rechange, notes de calcul, etc.

5.3 Mise en route de l'installation et essais

Les contrôles tels que décrits au paragraphe 5.2 étant effectués et les retouches faites, on peut procéder à la mise en route. Cela suppose que le fonctionnement de tous les appareils a été vérifié.

Procéder au remplissage de l'installation avec le liquide définitif, ce qui peut impliquer une vidange après les contrôles et éventuellement une stérilisation des circuits, en général à l'hypochlorite de calcium dans le cas d'eau potable, de produits alimentaires ou pharmaceutiques.

S'assurer de l'armorçage des pompes, des purges d'air, des niveaux dans les fosses ou réservoirs à l'aspiration et au refoulement, de l'arrosage des presse-étoupe et autres branchements, des niveaux d'huile.

Vérifier la position des vannes.

Démarrer chaque pompe une par une et ouvrir la vanne de refoulement si nécessaire dès que le moteur est en régime permanent. Une fois toutes les pompes en fonctionnement normal, vérifier et noter les pressions, débits, intensités, tensions, températures.

Si le liquide pompé est chaud, après 30 min environ, arrêter l'installation et refaire l'alignement.

S'il existe une régulation simultanée sur plusieurs pompes ou plusieurs grandeurs, il faut la régler dans son ensemble car les réglages individuels de chaque appareil ne constituent pas un réglage de l'ensemble.

Tous ces contrôles, en usine ou sur le site, avant ou après mise en route, peuvent être confiés à des sociétés spécialisées [Doc. B 4 340] ; c'est ce que font en particulier les assurances maritimes.

6. Exploitation

6.1 Consignes de démarrage et d'arrêt

6.1.1 Démarrage

Vérifier que :

— la tension est normale et tous les circuits électriques sont alimentés ;

— les arrosages, réchauffages, refroidissements sont en service ;

— les vannes sont en bonne position ;

— les pompes sont amorcées, l'air purgé ;

— les niveaux sont normaux.

Choisir la pompe ayant le moins d'heures de marche comme pompe de service et mettre le sélecteur en position en s'assurant qu'on ne peut pas démarrer d'autre moteur en même temps pour éviter un appel de courant abusif.

Une fois la pompe en service, ouvrir la vanne de refoulement le cas échéant et attendre dix secondes avant de démarrer la suivante. Ne pas démarrer une pompe deux fois consécutives et respecter le nombre maximal de démarrages à l'heure.

Vérifier les fuites aux presse-étoupe et l'échauffement des paliers.

6.1.2 Arrêt

Fermer lentement la vanne de refoulement s'il s'agit d'une pompe centrifuge (dans le cas où la pompe s'arrête vanne fermée).

Arrêter le moteur.

Fermer la vanne de refoulement s'il s'agit d'une pompe volumétrique.

Arrêter les arrosages, réchauffages et refroidissements.

Toute reproduction sans autorisation du Centre français d'exploitation du droit de copie est strictement interdite.
© Techniques de l'Ingénieur, traité Génie mécanique

6.2 Surveillance du fonctionnement

■ **Tableau ou pupitre de contrôle** : pour tous les instruments, établir une valeur normale ou extrême ; ce document sera utilisé en permanence pour détecter les anomalies.

■ **Vérifications périodiques** :

— les niveaux d'huile et de carburant chaque jour ;
— les températures de paliers toutes les quatre heures, celles des moteurs électriques toutes les huit heures ;
— les fuites aux presse-étoupe ou joints, l'absence de cavitation, les niveaux, toutes les quatre heures ;
— le fonctionnement des sécurités, l'état des lampes témoin et des courroies, toutes les semaines ;
— les pressions et débits toutes les huit heures.

Cela est une base à aménager selon les cas.

■ **Incidents de fonctionnement**, rassemblés dans le tableau 4.

6.3 Entretien

Constituer un manuel d'entretien contenant les instructions des constructeurs.

Ces instructions concerneront principalement :

— le graissage ;
— les presse-étoupe ;
— le changement des roulements, paliers, butées ;
— le changement des chemises d'arbre ;
— le changement des joints ou segments de vérins de commande des vannes ;
— les joints des opercules de vanne ou des portées de clapets ;
— l'échange des bagues (usure et étanchéité) ;
— les moteurs thermiques (bougies, injecteurs, filtres, etc.) ;
— les pièces d'usure des accouplements ;
— les courroies, engrenages, etc. ;
— les rotors des pompes rotatives ;
— l'entretien électrique ;
— les mises en arrêt (vidanges, antirouille, etc.) ;
— l'état des revêtements (peintures, par exemple).

Tableau 4 – Incidents de fonctionnement

■ **Absence de débit :**
— désarmorçage ;
— vitesse trop basse (pompe centrifuge) ;
— hauteur géométrique excessive (pompe centrifuge) ;
— bouchon ou vanne fermée ;
— mauvais sens de rotation ;
— soupape de sûreté ou by-pass ouverts.

■ **Débit insuffisant :**
— entrée d'air à l'aspiration ;
— vitesse trop basse ;
— roue de trop faible diamètre (pompe centrifuge) ;
— hauteur de refoulement ou d'aspiration trop élevée ;
— pompe ou tuyauterie partiellement obstruée ;
— pression de vapeur trop élevée ;
— usure de la pompe ;
— clapet de pied trop petit ;
— orifice d'aspiration insuffisamment noyé ;
— poches d'air ;
— viscosité excessive ;
— soupape de sûreté mal réglée ou bloquée ;
— clapets défectueux (pompe alternative) ;
— by-pass ouvert.

■ **Hauteur insuffisante (pompe centrifuge) :**
— vitesse trop basse ;
— gaz dans le liquide ;
— usure de la pompe ;
— roue de trop petit diamètre ;
— fuite au refoulement.

■ **Pression insuffisante (pompe volumétrique) :**
— soupape de sûreté mal réglée ou bloquée ;
— fuite sur le refoulement.

■ **Puissance exagérée :**
— vitesse trop grande ;
— hauteur totale plus basse que prévue (pompe centrifuge) ;
— densité plus grande que prévue (pompe centrifuge) ;
— viscosité trop grande ;
— frottements (garnitures à tresses) ;
— tuyauterie obstruée (pompe volumétrique).

■ **Chocs dans le réseau :**
— battements du clapet de non-retour ;
— coups de bélier ;
— cavitation à l'aspiration ;
— corps étranger dans la tuyauterie.

Dans le cas de pompes volumétriques ;
— battements des clapets ;
— présence d'air ou de gaz ;
— orifice d'aspiration insuffisamment noyé ;
— battements de la soupape de sûreté.

Toute reproduction sans autorisation du Centre français d'exploitation du droit de copie est strictement interdite.
© Techniques de l'Ingénieur, traité Génie mécanique

Liquides à pression moyenne

Stations de pompage

par **Jacques LAUNAY**
Ingénieur de l'École Centrale de Paris
Ancien Directeur de l'Usine Worthington SA

et **Gabriel PERROTIN**
Ingénieur à la société Pompes Guinard, Groupe KSB

Bibliographie

LECOUEY (P.). – Et si nous parlions pompes ? Pyc Éditions (1986).

Guide technique pour l'installation des matériels de pompage d'eau. Syndicat des constructeurs de pompes (1982).

Mémento Degrémont. 9e éd. (1989).

Mémento SIHI, nov. 1982.

CHARLENT (H.). – Traité de plomberie. 12e éd. Garnier (1973).

Les pompes centrifuges. Conception, règles d'utilisation. Nathan-Pompes Guinard (1985).

Détermination des pompes centrifuges. Pompes Guinard – Groupe KSB.

Canalisations. Pont-à-Mousson SA (1977).

Normalisation

Les normes les plus couramment employées dans le domaine des stations de pompage sont données par les organismes suivants :

American Iron and Steel Institute (AISI).
American Petroleum Institute (API).
American Standards of Mechanical Engineers (ASME).
Association Française de Normalisation (AFNOR).
British Standards Institution (BSI).
Commission Électrotechnique Internationale (CEI).
Deutsches Institut für Normung (DIN).
International Organization for Standardization (ISO).
Société Belge des Mécaniciens (SBM).
Standards of Hydraulic Institute.
Union Technique de l'Électricité (UTE).

Toute reproduction sans autorisation du Centre français d'exploitation du droit de copie est strictement interdite. – © Techniques de l'Ingénieur, traité Génie mécanique

POUR EN SAVOIR PLUS

Constructeurs

(Liste non exhaustive)

Constructeurs	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	Autres
Allweiller France.	x	x	x			x	x		(12) (15)
Baudot-Hardoll.			x			x			
Bergeron Rateau.	x	x	x	x					(9) (10) (14)
Bran et Luebbe Sàrl								x	
Brière Georges (Éts)						x			
BW/IP International Sàrl	x	x	x	x					(13)
CCM Sulzer.	x	x		x					(9)
Clextral, Pompes DKM	x							x	
Delasco SA							x		
DMR (Dosapro Milton Roy SA).								x	
Ensival (Sté).	x	x	x						
Essa Mico (Pompes).	x		x	x		x			(12) (16)
Flygt France.	x	x	x	x					(10)
Fryer (Échangeurs).					x				
Guinard - Groupe KSB (Pompes).	x	x	x	x		x			(13) (12) (16)
Gründfos SA (Pompes).	x		x	x					(11)
Ingersoll-Rond (Cie).	x				x				(13)
Jeumont-Schneider (Dresser Pompes).	x	x		x					
Kestner SA.	x	x							(16)
Leroy Somer.	x		x	x					(11) (14)
Lewa (Pompes).	x				x	x		x	(16)
Maroger (Pompes).	x	x	x	x		x		x	(11) (12) (14) (15)
Mengin (Cie).	x	x		x					
Moret (Éts F.)	x			x		x			
Mouvex SA.						x			
Nijhuis BV (Machinefabrik GI).	x								
PCM Pompes.						x		x	
Pleuger (Dresser Pompes).				x					
Pompes ABS Sàrl.				x					
Pompes BJM Martin.			x	x					
PMH (Pompes et Machines Hydrauliques).					x				
Pollard (Pompes).						x			
Pumpex AB.				x					
Préci-pompe.								x	
Rheinhütte Friedrichsfeld.	x	x	x						(14)
Rutschi (Pompes).	x	x	x	x					
Salmson (Pompes).	x		x			x			
SCAM.						x			
Scanpump Lefi SA.	x		x	x		x			(11)
Schabaver.	x								(15)
Sciences et Technique.							x		
Sero - Pumpenfabrik GmbH.	x		x						(12)
SIHI (Pompes).	x		x			x			(12)
Sirem.							x		
Soméflu.	x		x						(16)
Spaans.									(10)
SPP Ltd.	x			x					(14)
Stéfi (Sté).		x							
Stork (Ventilateurs).						x			
Ultra Pompe.			x						
Wemco France.	x		x	x					(15)
Weir Pumps Ltd.	x			x					(14)
Worthington (Dresser Pompes).	x					x			

(1) Pompes centrifuges et hélicocentrifuges
(2) Pompes hélice
(3) Pompes centrifuges auto-amorçantes
(4) Pompes submersibles
(5) Pompes alternatives
(6) Pompes rotatives
(7) Pompes péristaltiques
(8) Pompes doseuses

Autres

(9) volute en béton
(10) pompe à vis d'Archimède
(11) pompe à énergie solaire
(12) pompe à canal latéral
(13) pompe à récupération d'énergie
(14) études sur modèles
(15) hydrocyclones
(16) pompe plastique

Toute reproduction sans autorisation du Centre français d'exploitation du droit de copie est strictement interdite. – © Techniques de l'Ingénieur, traité Génie mécanique

Organismes et réglementation

Chambre Syndicale Nationale des entreprises et industries de l'Hygiène Publique.

Syndicat des constructeurs de pompes.

Règlements pour piscines publiques :

— En France, décret n° 81 324 du 7 avril 1981 (JO du 10 avril) ; s'adresser également au Ministère de la Jeunesse et des Sports et à la Direction Départementale de l'Aide Sanitaire et Sociale ;
— pour la CEE, décret n° L 31/5 : 76/160/CEE (JO du 5 fév. 1976).

Contrôle et réception de pompes en usine : en plus des organismes déjà mentionnés, on peut citer :

— Bureau Veritas ;
— APAVE service technique secteur essais ;
— CETIM (Syndicat des Constructeurs de Pompes) Établissement de Nantes. Cet établissement dispose des installations permettant d'essayer les pompes en plate-forme.

— En outre, la plupart des ingénieurs-conseils disposent d'un service de réception et de contrôle du matériel en usine.

Matériel anti-déflagrant : l'emploi de matériel électrique spécial est défini :

— d'une façon générale par la brochure 1001 tome 3 : arrêtés, circulaires et instructions pour les installations classées par la protection de l'environnement (Journal Officiel) ;
— d'une façon plus particulière pour le matériel en atmosphère explosive par l'arrêté du ministère de l'environnement du 31/3/1980 (JO du 30/4/1980), qui donne l'ensemble des règlements en accord avec les directives européennes, et par le décret du 14/11/88 du Ministère du Travail, arrêté du 19/12/1988 (JO du 30/12/88) qui se réfère aux mêmes directives.

L'ensemble est repris par les normes UTE, pour la protection des travailleurs par la norme C 12-101, et pour les atmosphères explosives par la norme C 12-330.

POUR EN SAVOIR PLUS

Toute reproduction sans autorisation du Centre français d'exploitation du droit de copie est strictement interdite. – © Techniques de l'Ingénieur, traité Génie mécanique